This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

TQW
.K65

Th. Kittl

Die elektromagnetische Wellentelegraphie.

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin

Digitized by Google

Digitized by Google

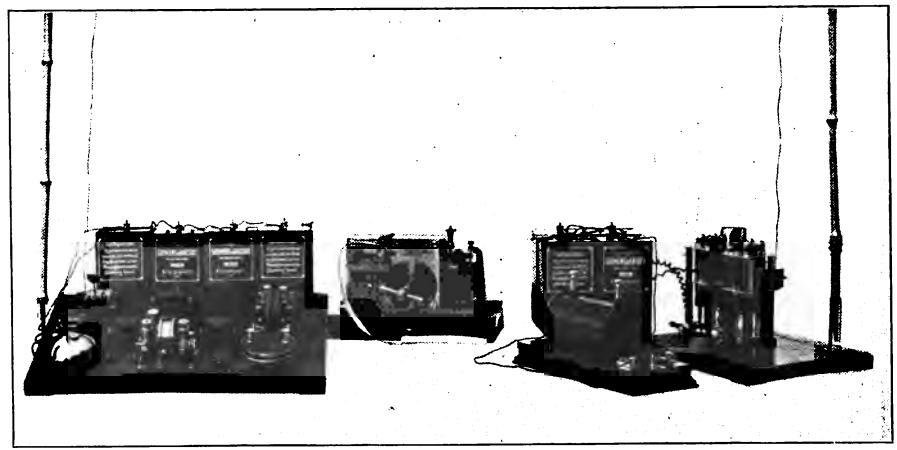
Digitized by Google

Die
elektromagnetische Wellentelegraphie.

Von

Theodor Kittl.

Digitized by Google



Eine Empfangs- und eine Sendeeinrichtung, Prof. Braun und Siemens & Halske, für Demonstrationszwecke.

Digitized by Google

Die elektromagnetische

Wellentelegraphie.

Von

Theodor Kittl,
Oberingenieur der k. k. priv. Kaiser-Ferdinands-Nordbahn.

Mit 165 Abbildungen.

ZÜRICH,
Verlag von Albert Raustein
vorm. Meyer & Zeller's Verlag
1905.

Digitized by Google

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Digitized by Google

115031
FEB 3 1960
TQW
.K65
654356

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorrede 7

I. Teil. Die elektromagnetischen Wellen.

Die elektrischen Schwingungen 10
Resonanz 17
Die Versuche von Hertz 19
Entstehung und Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen 24

II. Teil. Die Theorie der Wellentelegraphie.

Das Prinzip der elektromagnetischen Wellentelegraphie 32
Schwingungen in geradlinigen Drähten 33
Das Kraftfeld bei der Wellentelegraphie 48
Schwingungen in geschlossenen Bahnen 51
Schwingungen in abgezweigten und gekuppelten Systemen 54
Die Indikatoren elektromagnetischer Wellen 64

III. Teil. Die Telegraphie mittels elektromagnetischer Wellen.

Die Versuche von Prof. Popoff 77
Die ersten Einrichtungen Marconis 78
Überblick über die Erfolge der Wellentelegraphie 81
Die Apparate zur elektromagnetischen Wellentelegraphie 87
Abänderungen und Verbesserungen der ersten Zeit 110
Syntonische und mehrfache Wellentelegraphie 115
Das abgestimmte System von Lodge und Muirhead 122
Das System Braun 122
Marconis System der syntonen Telegraphie 127
Das System Slaby-Arco 130
Das System Fessenden 136
Das System De Forest 140
Das System Telefunken 144

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorrede

Der berühmte englische Physiker Faraday war der erste, der die Ansicht aussprach, daß der eigentliche Sitz der elektrostatischen Erscheinungen in den dielektrischen Körpern zu suchen sei, nicht aber in den Leitern. Diese Anschauung hat Maxwell in seine elektromagnetische Lichttheorie aufgenommen; er hat angenommen, daß alle elektrischen Erscheinungen in dem den Weltraum kontinuierlich erfüllenden Lichtäther ihren Sitz haben. Die elektrische Polarisation des Äthers, welche durch elektrische Ladungen hervorgebracht wird, besteht aus elektrischen Verschiebungsströmen im Äther. Diese Verschiebungen im Dielektrikum wecken eine Art elastischer Gegenkraft, welche zur Wirkung kommt, sobald die Ursache aufhört, welche die Verschiebung verursacht hat. Es tritt dann ein Verschiebungsstrom entgegengesetzter Richtung auf.

Von Hertz ist gezeigt worden, daß jede elektrische Störung zunächst in ihrer unmittelbaren Umgebung und sodann in immer größer werdender Entfernung Änderungen an den magnetischen und elektrischen Kräften hervorruft, d. h. daß die elektromagnetischen Störungen sich im Dielektrikum mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten. Diese Geschwindigkeit ist nun tatsächlich gleich jener des Lichtes mit 300000 km in der Sekunde gefunden worden. Ist die elektrische Störung von periodischer Natur, so stimmt die Fortpflanzung der Veränderungen im Raume mit jener der Lichtwellen vollständig überein. Es ist daher die Ansicht naheliegend, daß Licht und strahlende Wärme nichts anderes sind als Äußerungen elektromagnetischer Wellen. Nach dieser, heute allgemein anerkannten elektromagnetischen Lichttheorie ist ein Lichtstrahl nur die Fortpflanzungsrichtung elektromagnetischer Energie; in isotropen Medien steht sie sowohl zur Richtung der elektrischen als auch zur Richtung der magnetischen Kraft senkrecht, welche Richtungen gleichfalls aufeinander senkrecht stehen. Hierfür haben die von Hertz durchgeführten Versuche den Wahrheitsbeweis erbracht.

Digitized by Google

Von besonderer Wichtigkeit für die Wellentelegraphie sind jene elektrischen Entladungen, welche unter Lichterscheinung und gleichzeitiger, gewaltsamer Durchbrechung des Dielektrikums vor sich gehen. Es sind dies die elektrischen Funken. Bei ihrem Auftreten werden sowohl das umgebende Dielektrikum als auch die beiden Elektroden, zwischen denen die Entladung stattfindet, bedeutend erhitzt und greift gleichzeitig eine mechanische Zerstäubung des Elektrodenmateriales platz. Die spektroskopische Untersuchung der elektrischen Funken hat ergeben, daß sie aus glühendem Elektrodenmaterial und aus dem glühenden Dielektrikum bestehen.

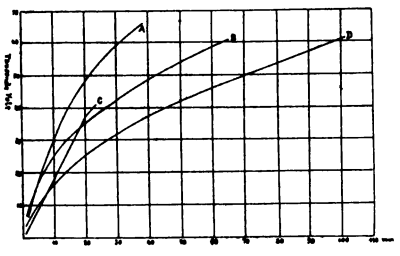


Abb. 1.

Das Auftreten eines elektrischen Funkens ist an das Vorhandensein einer bestimmten Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden gebunden. Dieses sogenannte Entladungspotential steigt mit der Funkenlänge an, nicht aber in gleichem Maße.

Interessant und lehrreich sind die Kurven, welche von R. Thury durch ganze Versuchsreihen aufgenommen wurden, und welche die Abhängigkeit zwischen Funkenlänge (Schlagweite) und Entladungspotential darstellen. In Abb. 1 sind diese Abhängigkeitskurven für Entladungen zwischen verschieden geformten Elektroden dargestellt, welche mit Gleichstrom gespeist wurden. Die Kurve *A* bezieht sich auf Entladungen zwischen Kugeln, die Kurve *B* auf solche zwischen einer ebenen Platte und einer Kugel, wobei die Polarität der Elektroden gleichgültig war. Die Kurve *C* wurde unter den Umständen aufgenommen, daß die positive Elektrode aus einer Platte und die negative Elektrode aus einer Spitze gebildet war. Eine wesentliche Abweichung von ihr zeigt die Kurve *D*, welche die Versuchsergebnisse bei einer positiv geladenen Spitze und einer negativ geladenen Platte wiedergibt. Die Abb. 2 zeigt ähnliche Versuchsresultate, welche bei Zuführung von Wechselstrom von 50 Perioden in der

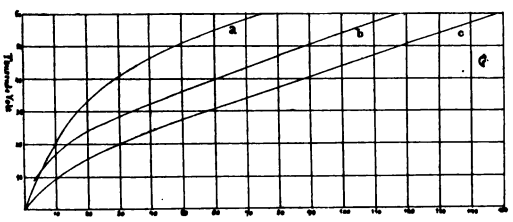


Abb. 2.

Digitized by Google

Sekunde zu den Elektroden erhalten wurden. Die mit *a* bezeichnete Kurve bezieht sich auf die Entladung zwischen zwei Kugeln, die mit *b* gekennzeichnete auf Entladungen zwischen einer Platte und einer Kugel und die Kurve *c* auf Entladungen zwischen einer Spitze und einer Platte.

Alle Kurven beider Abbildungen zeigen an je einer Stelle eine auffallende Richtungsänderung. Von dieser Entladespannung angefangen wächst die Schlagweite wesentlich rascher als die Spannung. Vergleicht man die Wechselstrom- mit den Gleichstromkurven, so findet man bei ersteren ein rascheres Anwachsen der Funkenstrecke. Die kürzeste Schlagweite haben die Entladungen zwischen zwei Kugelelektroden.

Das Entladungspotential ist jedoch noch von einer ganzen Reihe anderer Bedingungen abhängig, als Natur, Größe und Temperatur der Elektroden, endlich Natur, Druck und Temperatur des Dielektrikums. Auch andere äußere Umstände beeinflussen die Höhe des Entladepotentiales, als nahe Flammen, überschlagende elektrische Funken, ultraviolette Licht-, Röntgen- und Becquerelstrahlen. Von besonderer Wichtigkeit ist bei einem gasförmigen Dielektrikum der Druck, unter dem es steht. Durch Druckverminderung wird auch die Höhe des Entladepotentiales herabgesetzt; etwa bei einem Gasdrucke, der durch eine Quecksilbersäule von $^1/_2$ mm Höhe gemessen wird, ist das Minimum dieses Potentiales erreicht. Bei weiter fortgesetzter Druckerniedrigung steigt das Entladepotential rasch an. Bei den heute erreichbaren Verdünnungen hat es so hohe Werte, daß eine Entladung fast ein Ding der Unmöglichkeit wird.

Digitized by Google

I. Teil.

Die elektromagnetischen Wellen.

Die elektrischen Schwingungen.

Kontinuierliche und oszillatorische Entladungen.

Verbindet man zwei, auf verschieden hohes Potential geladene Elektrizitätsleiter durch einen Draht, so findet die Ausgleichung dieser Potentialdifferenz in einer gewissen Zeit durch einen veränderlichen Strom statt. Auch wenn man die Belegungen eines Kondensators durch eine Drahtleitung und eine Funkenstrecke miteinander in Verbindung setzt, tritt die Entladung der in beiden Belegungen angesammelten Elektrizitätsmengen durch einen veränderlichen Strom ein.

Denke man sich einen Stromkreis aus einem Kondensator von der Kapazität C, aus einer Funkenstrecke und einem Metalldrahte gebildet. Der Gesamtwiderstand W und die gesamte Selbstinduktion L seien gleichmäßig über den ganzen Stromkreis verteilt. Der Kondensator werde von einer hochgespannten Elektrizitätsquelle geladen, bis sich die Ladungen über die Funkenstrecke f entladen (siehe Abb. 3 u. 4). Hat die Elektrizitätsquelle einen Selbstinduktionskoeffizienten von bedeutend höherer Größenordnung, so darf man die Verbindungsleitungen zwischen dem Entladungskreise und der Stromquelle für den Entladestrom näherungsweise als nicht vorhanden ansehen. Wird die Ladung des Kondensators zum Zeitpunkte t mit q bezeichnet, so ist die in ihm aufgespeicherte Energiemenge $\frac{q^2}{2C}$. Deren Abnahme in der Zeiteinheit $\frac{d}{dt}\left(\frac{q^2}{2C}\right)$ verwandelt sich teils in Joulesche Wärme Wi^2, wobei i die zum Zeitpunkte t vorhandene Stromintensität bedeutet, und in die magnetische Energie $\frac{d}{dt}\left(\frac{Li^2}{2}\right)$. Unter Berücksichtigung, daß der Momentan-

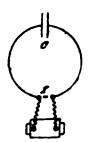


Abb. 3.

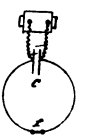


Abb. 4.

Digitized by Google

strom i gleich der Verminderung der Ladung in der Zeiteinheit $\left(-\frac{dq}{dt}\right)$ ist, ergibt sich die Gleichung:

$$-\frac{1}{2C}\cdot\frac{dq^2}{dt} = W\cdot\left(\frac{dq}{dt}\right)^2 + \frac{L}{2}\cdot\frac{d}{dt}\left(\frac{dq}{dt}\right)^2$$

oder

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{W}{L}\cdot\frac{dq}{dt} + \frac{q}{CL} = 0. \qquad (1)$$

Differenziert man diese Gleichung nach t und setzt für $\frac{dq}{dt} = i$ ein, so ergibt sich, daß die Differentialgleichung genau dieselbe Form hat, wie jene für q. Es ist jedoch klar, daß q und i sich in den Grenzbedingungen unterscheiden werden. Setzt man, um ein Integral dieser Gleichung zu finden, $q = a\,e^{\varrho t}$, so findet man als Bedingungsgleichung für ϱ:

$$\varrho^2 + \frac{W}{L}\varrho + \frac{1}{CL} = 0 \text{ oder } \varrho = -\frac{W}{2L} \pm \frac{1}{2L}\sqrt{W^2 - \frac{4L}{C}}. \qquad (2)$$

Setzt man, der einfacheren Schreibweise wegen:

$$\frac{1}{2L}\sqrt{W^2 - \frac{4L}{C}} = \omega,$$

so sind die allgemeinen Integrale:

$$i = e^{-\frac{Wt}{2L}}(c_1 e^{\omega t} + c_2 e^{-\omega t}) \text{ und } q = e^{-\frac{Wt}{2L}}(c_3 e^{\omega t} + c_4 e^{-\omega t}). \qquad (3)$$

ω kann reell oder imaginär sein, je nachdem W^2 größer oder kleiner ist als $\frac{4L}{C}$. Die Grenzbedingungen, mit Hilfe deren die unbestimmten Konstanten c_1, c_2, c_3 und c_4 zu bestimmen sind, sind: Für $t = 0$ ist $i = 0$ und $q = q_0$, für $t = \infty$ ist $i = 0$ und $q = 0$. Daraus folgt $c_1 + c_2 = 0$ und $q_0 = c_3 + c_4$; benützt man die Beziehung $\frac{dq}{dt} = i$, so ergibt sich: $c_1 = -\frac{q_0}{2CL\omega}$, $c_2 = \frac{q_0}{2CL\omega}$, $c_3 = -\frac{q_0}{C\omega(-W + 2L\omega)}$ und $c_4 = -\frac{q_0}{C\omega(W + 2L\omega)}$ und daher:

Digitized by Google

$$i = \frac{q_0}{2CL\omega} e^{-\frac{Wt}{2L}} (e^{-\omega t} - e^{\omega t}) \text{ und}$$

$$q = -\frac{q_0}{C\omega} e^{-\frac{Wt}{2L}} \left(\frac{e^{-\omega t}}{W + 2L\omega} + \frac{e^{\omega t}}{-W + 2L\omega} \right). \quad (4)$$

1. Fall. ω ist reell, d. h. $W^2 > \frac{4L}{C}$. Dies ist der Fall der kontinuierlichen Entladung. Der Strom steigt vom Nullwerte sehr rasch zu einem Maximum an, welches er zur Zeit

$$t = \frac{L}{\sqrt{W^2 - \frac{4L}{C}}} \log \left(\frac{W + \sqrt{W^2 - \frac{4L}{C}}}{W - \sqrt{W^2 - \frac{4L}{C}}} \right)$$

erreicht. Die Form der Stromkurve ist in Abb. 5 ungefähr dargestellt. Aus ihr ist zu ersehen, daß der Strom von seinem Maximalwerte stetig abfällt und sich dann asymptotisch der Abszissenachse nähert.

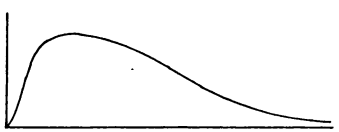


Abb. 5.

2. Fall. ω ist imaginär, d. h. $W^2 < \frac{4L}{C}$. Dies ist der Fall der oszillatorischen Entladung. Um die Resultate auch in diesem Falle in reeller Form zu erhalten, setzt man $\omega = \varphi\sqrt{-1}$ und man findet:

$$i = \frac{q_0 e^{-\frac{Wt}{2L}}}{CL\varphi} \sin \varphi t \text{ und}$$

$$q = \frac{2q_0}{C\varphi\sqrt{W^2 + 4L^2\varphi^2}} e^{-\frac{Wt}{2L}} \sin \left(\varphi t + \operatorname{arctang} \frac{2L\varphi}{W} \right),$$

oder wenn man den Wert von φ einsetzt:

$$i = \frac{2q_0}{\sqrt{4LC - W^2C^2}} \cdot e^{-\frac{Wt}{2L}} \cdot \sin \left(\frac{\sqrt{4LC - W^2C^2}}{2LC} t \right) \text{ und}$$

$$q = \frac{2q_0\sqrt{LC}}{\sqrt{4LC - C^2W^2}} \cdot e^{-\frac{Wt}{2L}} \cdot \quad (5)$$

$$\sin \left\{ \frac{\sqrt{4LC - W^2C^2}}{2LC} t + \operatorname{arctang} \frac{\sqrt{4LC - W^2C^2}}{WC} \right\}.$$

Digitized by Google

Die Maxima und Minima der Stromkurve ergeben sich aus der Gleichung:

$$t = \frac{2LC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}} \cdot \left(n\pi + \text{arctang}\, \frac{\sqrt{4LC - W^2C^2}}{WC}\right) \quad (6)$$

Der Vorgang, der bei dieser Art der Entladung eintritt, ist der folgende: Von der einen Kondensatorbelegung übergeht die Elektrizität auf die andere, bis beide das Potential Null haben. Dies ist im Zeitpunkte $t = \frac{2\pi LC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}} \cdot \text{arctang}\, \frac{\sqrt{4LC - W^2C^2}}{WC}$ eingetreten. Damit ist jedoch der Vorgang nicht zu Ende. Die Strömung der Elektrizität hat jetzt ihr erstes Maximum erreicht. Da sie gewissermaßen eine Art Trägheit besitzt, so setzt sie sich in demselben Bewegungssinne fort und ladet die Armaturen mit entgegengesetzten Ladungen wie früher, bis der Strom neuerlich den Wert Null erreicht. Dies erfolgt im Zeitpunkte $t = \frac{2\pi LC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}}$. Die Höhe der Ladung ist jedoch nicht mehr dieselbe, wie zu Beginn der Entladung; sie ist jetzt gegeben durch die Formel $q_1 = -q_0 e^{-\frac{\pi WC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}}}$. Wie ersichtlich, ist sie kleiner geworden, sie deutet damit an, daß die Schwingung gedämpft worden ist.

Nun beginnt der Entladevorgang neuerlich und zwar in entgegengesetzter Richtung wie das erste Mal, und es werden die beiden Armaturen neuerlich mit Ladungen derselben Vorzeichen geladen, wie sie sie ursprünglich besaßen. Hat der Strom hierbei nach einem Durchgange durch ein negatives Maximum abermals den Nullwert erreicht, so ist eine ganze Schwingung vollzogen. Die Dauer der Schwingung ist gegeben durch die Formel:

$$\tau = \frac{4\pi LC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}}.$$

Die Ladung beträgt nun $q_2 = q_0 \cdot e^{-\frac{2\pi WC}{\sqrt{4LC - W^2C^2}}}$. Der dem ursprünglichen Ladungswerte q_0 beigesetzte Faktor heißt der Dämpfungsfaktor; er gibt an, in welchem Maße die Ladung in je einer Schwingungsperiode gedämpft wird. Die Größe der Dämpfung hängt also von dem Werte des Ausdruckes $\frac{2\pi W}{\sqrt{\frac{4L}{C} - W^2}}$ ab. Es

Digitized by Google

ist ohne weiteres einzusehen, daß, je größer der Gesamtwiderstand des Stromkreises ist, auch die Dämpfung um so größer sein wird; dabei darf jedoch die für die oszillatorische Entladung geltende Bedingung $W < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ nicht überschritten werden. In der nebenstehenden Abb. 6 deutet die vollausgezogene Kurve den zeitlichen Verlauf der Potentialdifferenzen einer oszillatorischen Entladung eines Kondensators, die gestrichelte Kurve dagegen den gleichzeitigen Verlauf der Stromintensitäten an.

Abb. 6.

3. Fall. $W^2 = \frac{4L}{C}$. Dieser Grenzfall ist der der sogenannten schnellsten Entladung. Für diesen gelten die Formeln:

$$i = -\frac{q_0 t}{CL} e^{-\frac{Wt}{2L}} \text{ und } q = \left(1 + \frac{Wt}{2L}\right) q_0 e^{-\frac{Wt}{2L}}.$$

Das Maximum der Stromkurve tritt zur Zeit $t = \frac{2L}{W} = \frac{WC}{2}$ ein. Diese zuerst von William Thomson im Jahre 1853 durchgeführte Rechnung (siehe Transient Electric Currents. Philosoph. Magazine 1853) ist unter der Annahme aufgestellt, daß die Stromstärke in allen Punkten des geschlossenen Kreises zu demselben Zeitpunkte gleich sei, was nichts anderes besagt, als daß der Stromkreis nur im Kondensator eine Kapazität besitzt und daß Widerstand und Selbstinduktion über den ganzen Stromkreis gleichmäßig verteilt sind.

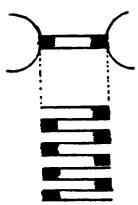


Abb. 7.

Die aus der Theorie abgeleiteten Anschauungen Thomsons über die Möglichkeit oszillatorischer Funkenentladungen wurden im Jahre 1857 durch die experimentellen Arbeiten Feddersens als richtig bestätigt. Dieser beobachtete das Funkenbild in einem raschrotierenden Spiegel. Dabei erschien dieses in eine Reihe einzelner Funken aufgelöst, welche das Aussehen von Entladungen wechselnder Richtung zeigten, indem die charakteristischen Erscheinungen der positiven und negativen Elektroden ihren Platz tauschten (siehe Abb. 7). Diese Erscheinungen konnten jedoch nur dann beobachtet werden, wenn der Widerstand des Schließungskreises im Verhältnisse zur Selbstinduktion desselben klein war. In späterer Zeit wurden derlei Versuche mit objektiver Aufnahme gemacht, wobei eine photo-

Digitized by Google

graphische Platte in rasche Bewegung gesetzt wurde; diese Aufnahmen gestatten bei bekannter Geschwindigkeit der Platte aus der Breite des Bildes die Entladungsdauer zu bestimmen. Bei Stromkreisen mit großem Widerstande und verhältnismäßig geringer Selbstinduktion wurden kontinuierliche Entladungen beobachtet, bei denen die Lichtstärke des Funkenbildes fortwährend abnahm; bei sehr hohem Widerstande des Kondensatorkreises wurden auch intermittierende Entladungen, d. h. eine Reihe aufeinander folgender, kontinuierlicher Teilentladungen festgestellt.

Daß auch zufolge oszillatorischer Entladungen Schwingungen in verschiedenartig geformten Schwingungskreisen auftreten, hat der englische Physiker Oliver Lodge gezeigt. Die wichtigsten dieser Versuche sollen im folgenden dargestellt werden. Zweigt man von den Belegungen eines Kondensators einerseits die zu einer Funkenstrecke f führenden Drähte und andererseits zwei lange, frei endigende

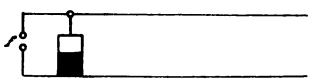


Abb. 8.

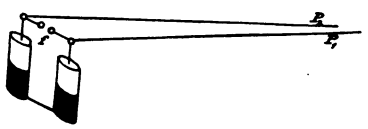


Abb. 9.

Drähte ab, so zeigt sich an den Drahtenden eine Lichterscheinung, wenn die Entladung des Kondensators über die Funkenstrecke im Dunkeln erfolgt und unter Umständen, wenn die langen Drähte nicht zu weit voneinander abstehen, kann auch zwischen diesen ein längerer Funke überspringen, als jener der Funkenstrecke f (siehe Abb. 8).

Eine ähnliche Erscheinung beobachtet man bei der in Abb. 9 dargestellten Versuchsanordnung, welche sich von der vorigen nur durch Herstellung einer vollständigen Symmetrie unterscheidet. Hier treten zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 der abgezweigten Drähte während der Entladung über die Funkenstrecke f um so stärkere Funken auf, je näher diese Punkte den Drahtenden liegen. Selbstverständlich steht die Drahtlänge mit der Kapazität der Kondensatoren in einem gewissen Zusammenhange.

Man kann jedoch auch Nebenfunken zwischen Teilen eines und desselben Drahtes erhalten, welcher einseitig von dem Kondensatorkreise abgezweigt ist, wenn das isolierte Drahtende dem Anschlußende während der Entladung über die Funkenstrecke f genügend

Digitized by Google

nahe steht (Abb. 10). Dieselbe Erscheinung erzielt man, wenn man den Kondensator hinwegläßt und die die Funkenstrecke bildenden Leiter direkt von einer Elektrizitätsquelle ladet, wobei der eine Leiter an Erde geschlossen und von dem anderen ein längerer Draht abgezweigt ist. Bei der Entladung über die Funkenstrecke f treten bei hinreichender Näherung der Punkte P_1 und P_2 zwischen diesen Funken auf (siehe Abb. 11).

Der letzte der angeführten Versuche weicht im Wesen von dem von Heinrich Hertz durchgeführten Versuche wenig ab, welcher die

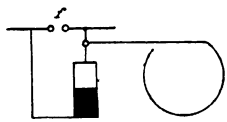


Abb. 10.

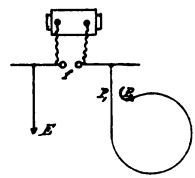


Abb. 11.

Grundlage seiner bahnbrechenden Untersuchungen bildete. An eine der beiden Metallstangen (siehe Abb. 12 u. 13), welche die Funkenstrecke F eines Ruhmkorffschen Funkeninduktors bildeten, war mittels eines Verbindungsdrahtes V ein zu einem Rechteck gebogener Kupferdraht, der mit den an seinen Enden befestigten Kugeln eine Funkenstrecke f bildete, einseitig angeschlossen. Ist

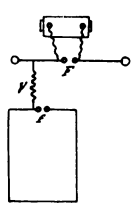


Abb. 12.

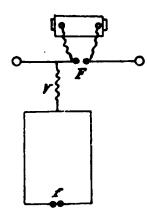


Abb. 13.

der Verbindungsdraht in der Nähe der Funkenstrecke f an das Drahtrechteck angeschlossen, so zeigt sich bei jeder Entladung über die Funkenstrecke F auch ein Funke in der Funkenstrecke f. Je weiter die Anschlußstelle von der Funkenstrecke f entfernt war, um so kleinere Funken traten in dieser gleichzeitig mit den Entladefunken in F auf. Teilte die Anschlußstelle des Drahtes V das Drahtrechteck in zwei gleiche Teile, so trat in f niemals ein Funken auf.

Diese Erscheinung ist von der Substanz des Rechteckes, wenn sie nur eine gut leitende ist, sowie von der Länge des Verbindungs-

Digitized by Google

drahtes, wofern diese nicht allzu groß gewählt wird, unabhängig. Hertz stellte jedoch auch fest, daß die Funkenerscheinung in *f* auftrat, wenn der Verbindungsdraht *V* ganz weggelassen (Abb. 14) und das Drahtrechteck der Funkenstrecke *F* in passender Stellung genähert wurde. Dieser letzte Versuch ist von besonderer Bedeutung, weil er ein Mittel zur Untersuchung der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen in der Luft bot und die Erkenntnis der elektrischen Resonanz anbahnte.

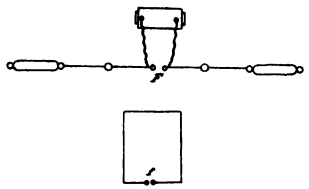


Abb. 14.

Resonanz.

Die Erscheinungen der akustischen Resonanz, welche schon seit langer Zeit bekannt sind, können auch die elektrische Resonanz leicht verständlich machen. Wird eine Saite eines Saiteninstrumentes zum Tönen gebracht, so gerät auch die entsprechende Saite eines gleichgestimmten Saiteninstrumentes in Schwingungen, mag es sich auch in erheblichem Abstande von ersterem befinden. Die Höhe dieses durch Resonanz hervorgerufenen Tones ist dieselbe, wie die des erregenden Tones, und es dauert die Schwingung der durch Resonanz erregten Saite noch fort, wenn die erregenden Schwingungen bereits aufgehört haben. Die Intensität des durch Resonanz hervorgerufenen Tones ist am größten, wenn beide Saiten gleiche Stimmung haben, d. h. Töne von gleicher Schwingungszahl hervorbringen können. Je weniger genau die Bedingung gleicher Schwingungsperioden erfüllt ist, um so schwächer ist die Resonanz. Auch von der Dauer, durch welche die Schwingungen anhalten, ist die Stärke der Resonanz abhängig: Je andauernder die Schwingung der erregenden Saite ist, um so genauer muß die Schwingungsperiode der Saiten beider Instrumente übereinstimmen, wenn Resonanz stattfinden soll. Wenn aber die Schwingungen beider Saiten stark gedämpft sind, d. h. wenn sie ihre ursprüngliche Intensität rasch verlieren, dann tritt die Resonanz fast in der gleichen Stärke auf, ob nun beide Saiten gleichgestimmt sind oder ob ihre Schwingungszahlen wesentlich voneinander abweichen.

Ein tönender Körper sendet Schallwellen von Kugelform aus, welche sich unter Beibehaltung der Schwingungsperiode nach allen Richtungen des Raumes ausbreiten und aus schichtenweisen Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen; die Verdichtungen

Digitized by Google

und Verdünnungen schreiten bei der Wellenfortpflanzung fort, nicht aber die Luft, welche verdichtet oder verdünnt wird. Treffen solche Wellen auf Körper auf, welche eine ähnliche Schwingungsperiode besitzen wie die ihn treffenden Impulse, so wird er nach entsprechender Anzahl derselben in Schwingungen geraten.

Wie später gezeigt werden wird, rufen oszillierende Entladungen in dem umgebenden, dielektrischen Medium elektromagnetische Wellen hervor, welche sich von ihrem Entstehungsorte aus im Raume ausbreiten. Ebenso wie nun Schallwellen auf einen Körper, der von ihnen getroffen wird, periodisch wechselnde Drücke ausüben und ihn dadurch in Schwingung zu versetzen streben, so werden auch in einem Elektrizitätsleiter elektrische und magnetische Kräfte von wechselnder Stärke und Richtung wirksam, wenn elektromagnetische Wellen ihn treffen. Diese suchen an seiner Oberfläche Oszillationen hervorzurufen.

Wenn irgend eine periodisch veränderliche, elektrische Kraft auf einen Leiter einwirkt, so sucht sie in diesem Schwingungen von derselben Periode hervorzurufen. Es sind dies die sogenannten erzwungenen Schwingungen. Gleichzeitig mit diesen treten jedoch auch noch solche Schwingungen auf, deren Periodizität durch die Lage, Form und Dimension, also durch die Selbstinduktion und die Kapazität des Leiters bedingt ist. Diese Schwingungen heißen Eigenschwingungen, ihre Periode ist die Eigenperiode des Leiters. Stimmt die Periode der elektromagnetischen Wellen mit der Eigenperiode des Leiters überein, dann findet zwischen dem Wellenerreger und dem Leiter Resonanz statt; die Schwingungen in dem letzteren haben in diesem Falle die größte Intensität.

Ist die Bedingung der Periodengleichheit nur näherungsweise erfüllt, so tritt dennoch Resonanz ein, nur ist die Amplitude der im Leiter erregten Schwingungen kein Maximum mehr. Auch bei den elektrischen Schwingungen ist das Auftreten der Resonanz um so weniger an eine vollkommene Gleichheit der Periode gebunden, je gedämpfter die einfallenden Wellen sind. Man kann also mit elektromagnetischen Wellen einer Periode in Leitern von stark verschiedener Schwingungsperiode Resonanz, d. h. Eigenschwingungen hervorrufen, wenn die Wellen starke Dämpfung besitzen, weil sie dann ähnlich wie ein einzelner Anstoß auf einen tönenden Körper wirken. Diese Erscheinung ist von Sarasin und De la Rive festgestellt und mit dem unzutreffenden Namen multiple oder mehrfache Resonanz bezeichnet worden.

Digitized by Google

Die Versuche von Hertz.

Bei dem durch Abb. 14 dargestellten Versuche hat Hertz gefunden, daß bei entsprechender Wahl der Dimensionen des Rechteckes die Länge des bei *f* auftretenden Funkens ein Maximum wird, und daß die Abmessungen des Rechteckes, welche diesem Maximum entsprechen, sich mit jenen der Leiter, zwischen denen die erregenden Funken überspringen, verändern. Diese Beobachtung lieferte die Erklärung für die Erscheinung: War das Rechteck mit einem Leiter in metallischer Verbindung, so war der Funke bei *f* die Folge einer Potentialdifferenz, welche durch den Unterschied zwischen den Zeiträumen begründet war, innerhalb welcher sich die elektrische Störung längs beider Zweige des Rechteckes bis zur Funkenstrecke fortpflanzte. In gleicher Weise mußte im Falle, wo das Rechteck mit dem Oszillator nicht in metallischer Verbindung stand, der Funke durch elektrische Ladungen bedingt sein, deren Wert sich längs der Drähte veränderte. Es mußte also in beiden Fällen eine periodische Störung die Ursache des Funkens sein, weil sie von der oszillatorischen Entladung in der Funkenstrecke des Funkeninduktors ausging. Wenn die Dimensionen des Rechteckes im Falle der maximalen Funkenlänge derartige waren, daß die elektrische Störung dasselbe während einer halben Schwingungsdauer der oszillatorischen Entladung durchlaufen konnte, so mußte zwischen dieser und dem elektrischen Vorgange im Drahtrechtecke Resonanz bestehen. Aus diesem Grunde erscheint der Name Resonator für das Rechteck eine durchaus passende Bezeichnung. Für die meisten seiner Versuche verwendete Hertz statt des rechteckigen Resonators einen solchen in Kreisform (siehe Abb. 15). Bei beiden Formen des Resonators war das eine Drahtende mit einer kleinen Metallkugel oder Metallscheibe versehen, während das andere Ende eine zugespitzte Schraube trug, deren Abstand von der Kugel oder Scheibe regulierbar war.

Abb. 15.

Als Oszillator wurden bei den Versuchen zwei Leiter verwendet, welche von einem Funkeninduktor geladen wurden und zwischen denen eine oszillierende Entladung eintreten konnte. Zur Untersuchung der Ausbreitung der elektrischen Kraft wird der kreisförmige Resonator in solcher Entfernung vom Oszillator aufgestellt, daß das durch die Entladungen erzeugte elektromagnetische Feld innerhalb der vom Resonator umspannten Fläche als näherungsweise gleich-

Digitized by Google

förmig angenommen werden darf. Für den Resonator werden die in der Abb. 16 mit *I*, *II* und *III* bezeichneten Hauptlagen festgesetzt. Wird der Resonator zunächst in die Hauptlage *I* gebracht, wobei sein Mittelpunkt in einer Ebene liegt, welche auf der Richtung der Funkenstrecke senkrecht steht und diese halbiert, so zeigen sich keine Funken, man mag die Funkenstrecke um den Mittelpunkt des Kreises herumdrehen, wie man will; die elektrischen Kraftlinien stehen auf der Resonatorfläche senkrecht und die magnetischen Kraftlinien schneiden diese Fläche nicht.

In der Hauptlage *II*, welche dadurch charakterisiert ist, daß die Resonatorfläche auf der Verbindungslinie Funkenstrecke—Resonatormittelpunkt senkrecht steht, zeigt die Funkenstrecke des Resonators in allen Lagen Funken, nur dann nicht, wenn die Funkenstrecke zu oberst oder zu unterst angeordnet ist; in den Mittellagen, wenn die Funkenstrecke in der angegebenen Ebene liegt, hat der Funke seine größte Länge. Auch in diesem Falle

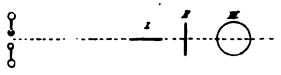


Abb. 16.

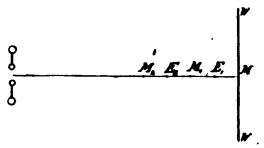


Abb. 17.

trifft keine magnetische Kraftlinie die Resonatorstrecke, aber die elektrische Kraft versieht die oberen und unteren Teile des Resonators mit entgegengesetzten Ladungen, welche sich in den Funken ausgleichen.

In der Hauptlage *III* befindet sich der Resonator mit dem Oszillator in einer Ebene. Hier verschwinden die Funken im Resonator niemals, welche Lage auch die Resonatorfunkenstrecke haben mag, weil die magnetischen Kraftlinien auf der Resonatorfläche senkrecht stehen, jedoch zeigen diese Funken dann ein Maximum, wenn sich die Funkenstrecke in der mehrerwähnten Ebene befindet; dann unterstützt nämlich die Verschiedenheit der dem Resonator mitgeteilten Ladungen die Wirkung der magnetischen Kraft.

Dieser Versuch läßt also die Verteilung der elektrischen und der magnetischen Kraft im Felde des Oszillators genau erkennen. Den strikten Beweis für die Entstehung elektromagnetischer Wellen hat jedoch Hertz durch den folgenden Versuch erbracht.

In entsprechendem Abstande von dem Oszillator wird eine große Metallwand *W*—*W* derart aufgestellt, daß ihr Mittelpunkt

Digitized by Google

von der vom Oszillator auf sie gefällten Senkrechten getroffen wird (siehe Abb. 17). Die Metallwand $W—W$ reflektiert die vom Oszillator ausgehenden Wellen vollständig und es bilden sich zwischen dem Oszillator und der Wand stehende Wellen aus, wie sich mittels des Resonators erweisen läßt. Bringt man nämlich den Resonator beispielsweise in die Hauptlage *II*, d. i. parallel zur Metallwand, und dessen Funkenstrecke in die Horizontalebene und bewegt den Resonator, von der Metallwand ausgehend, parallel zu sich selbst in gerader Richtung gegen den Oszillator, so zeigen sich im Resonator zunächst keine Funken, dann schwache Funken; diese werden im Verlaufe der Resonatorbewegung stärker, erreichen etwa im Punkte E_1 ihr erstes Maximum, werden dann wieder schwächer und verschwinden im Punkte M_1 vollständig; sie erreichen im Punkte E_2 ihr zweites Maximum und verschwinden neuerlich im Punkte M_2 usw. Je zwei aufeinanderfolgende Punkte M, E_1, M_1, E_2, M_2 haben gleichen Abstand voneinander. Es zeigen sich also in den Punkten M, M_1 und M_2 Knoten und in den Punkten E_1 und E_2 Bäuche elektrischer Kraft. Wegen der raschen Dämpfung der Schwingung im Oszillator lassen sich im allgemeinen nicht mehr als drei oder vier Knotenpunkte feststellen, da die von der Metallwand reflektierte Welle mit einer vom Oszillator ausgehenden Welle interferiert. Da letztere um einige vollständige Schwingungsdauern später ausgeht als die erstere, so ist sie bereits viel gedämpfter. Wenn dieser Umstand auch durch die mit der Ausbreitung der Welle verknüpfte Verringerung der Amplitude teilweise wettgemacht wird, so ist leicht einzusehen, daß wegen der Verschiedenheit der Amplituden der einfallenden und reflektierten Welle die Funken in den den folgenden Knotenpunkten entsprechenden Stellen nicht vollständig zum Verschwinden gebracht werden können.

Bringt man nun den Resonator in die Hauptlage *III*, wobei man, um ihn von den Einwirkungen der elektrischen Kraft vollständig unabhängig zu machen, der Resonatorfunkenstrecke die tiefste oder höchste Stelle des Kreises zuweist, und nähert ihn wieder, von der Metallwand ausgehend, dem Oszillator, so zeigen sich Funkenmaxima in den Punkten M, M_1 und M_2, während in den Punkten E_1 und E_2 keine Funken auftreten. Die letzteren Punkte sind demnach Knotenpunkte magnetischer Kraft, während sich in den ersteren Punkten Bäuche dieser Kraft ausbilden.

Die Bestimmung der Knotenpunkte bietet ein einfaches Mittel zur Feststellung der Wellenlänge; letztere ist gleich dem doppelten

Digitized by Google

Abstande zweier aufeinanderfolgender Knotenpunkte. Das Produkt der Schwingungszahl des Oszillators, welche sich aus dessen Dimensionen berechnen läßt, und der Wellenlänge ergab als Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen eine Zahl, welche von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, nämlich 300000 km in der Sekunde, relativ wenig abweicht.

Indem Hertz einen Oszillator in der Brennlinie eines Metallspiegels von der Form eines parabolischen Zylinders anbrachte und in der Brennlinie eines zweiten, gleichgestalteten Spiegels einen geradlinigen Resonator aufstellte, konnte er den Nachweis der Reflexion der elektrischen Wellen erbringen. Der geradlinige Resonator besteht aus einem in der Mitte durch eine Funkenstrecke unterbrochenen, geradegestreckten Drahtstücke und kann ebenso wie der Kreisresonator zum Nachweise der elektrischen Wellen dienen, nicht aber der magnetischen Wellen, da er keine magnetischen Kraftlinien umschließen kann. Der Versuch wurde in folgender Weise vorgenommen. Die beiden Parabolspiegel wurden so aufgestellt, daß die vom Oszillatorspiegel ausgehende elektromagnetische, ebene Welle schief auf eine ebene Metallwand $W—W$ auftraf (siehe Abb. 18) und durch Reflexion in den Resonatorspiegel zurückgeworfen wurde. In diesem Falle zeigte der Resonator Funken; wurde jedoch die Metallwand entfernt, so erloschen diese. Auch die Erscheinung der Brechung konnte Hertz feststellen. Wurden die beiden Parabolspiegel mit ihren Öffnungen einander gerade gegenüber aufgestellt und wurde zwischen beide Apparate ein großes Prisma aus Asphalt eingeschoben, so verschwanden die Funken im Resonator. Sie erschienen erst wieder, sobald der Resonatorspiegel seitlich um einen bestimmten Bogen verschoben wurde.

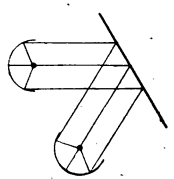


Abb. 18.

Bei diesen Hertzschen Versuchen ist es im allgemeinen günstig, wenn die Schwingungsperioden des Oszillators und des Resonators gleich sind, doch ist dies nicht unbedingt notwendig. Jedenfalls beeinflußt ein und derselbe Oszillator Resonatoren verschiedener Schwingungsperiode, welche Erscheinung schon unter dem Namen multiple Resonanz erwähnt wurde. Verwendet man zur Bestimmung der Knotenpunkte stehender Wellen Resonatoren von verschiedener Eigenschwingung, so erhält man für jeden Resonator andere Knotenpunkte; man bestimmt nämlich auf diese Art im allgemeinen die Wellenlänge des Resonators, nicht aber die des Oszillators. Der

Digitized by Google

Grund dieser Erscheinung ist, wie schon erwähnt, der, daß die Schwingung des Oszillators viel stärker gedämpft ist, als jene des Resonators. Es kann sich daher die Eigenschwingung des Resonators ausbilden, weil die vom Oszillator ausgehenden Wellen nicht wie eine periodische Kraft, sondern wie einzelne Anstöße wirken. Das umgekehrte Resultat ergibt sich, wenn man einen Resonator von größerer Dämpfung verwendet, als sie der Oszillator besitzt; in diesem Falle erhält man durch Resonatoren verschiedener Eigenschwingung stets dieselbe Wellenlänge, nämlich jene des Oszillators.

Durch diese Versuche, welche die vollständige Übereinstimmung des Verhaltens von Licht und elektromagnetischen Strahlen dartun, ist eine Bestätigung für die elektromagnetische Lichttheorie geliefert.

Die Licht- und die elektromagnetischen Wellen unterscheiden sich wesentlich voneinander nur durch ihre Schwingungsdauer und daher auch durch ihre Wellenlänge. Die von Hertz erzeugten Schwingungen haben eine Schwingungsdauer von $2 \cdot 10^{-8}$ bis $2 \cdot 10^{-9}$ Sekunden. Während die Wellenlänge des Lichtes nach einigen Zehntausendsteln eines Millimeters gemessen wird, konnte man elektromagnetische Wellen erzeugen, deren Wellenlänge zwischen 4 mm und etwa 800 oder mehr Metern variiert.

Die Übereinstimmung der Lichtstrahlen und der Strahlen elektromagnetischer Kraft wurde auch bei den meisten bekannten Erscheinungen der Optik nachgewiesen. Unter polarisiertem Licht versteht man solches, bei dem die Schwingungen nur in einer Ebene, der Schwingungsebene, vor sich gehen; die durch den Lichtstrahl zu dieser Ebene senkrecht gelegte Ebene heißt Polarisationsebene. Betrachtet man eine elektromagnetische Welle in dieser Beziehung, so kann man sagen, daß auch vom Oszillator polarisierte, elektromagnetische Wellen ausgehen. Es wurden die Fresnelschen Interferenzversuche mit einem oder zwei Spiegeln, mit dem Doppelprisma und durch dünne Platten auch mit den elektromagnetischen Wellen nachgeahmt. Desgleichen wurden die Erscheinungen der Beugung, welche beim Lichte nur unter Anwendung von Schirmen oder Spalten äußerst geringer Breitendimension zustande kommen, auch für die elektromagnetischen Strahlen gezeigt. Stellt man nämlich vor einem Oszillator eine Metallwand mit einer Spalte auf, so zeigt ein in der Verlängerung der Richtung Oszillator—Spalte aufgestellter Resonator keine Funken. Läßt man den Resonator an seinem Orte und verbreitert man die Spalte nach und nach, so zeigt der Resonator abwechselnd starke Funken und minimale oder gar keine

Digitized by Google

Funken. Es ist damit dargetan, daß auch für elektromagnetische Strahlen die geradlinige Fortpflanzung nur näherungsweise gilt. Diese Abweichung der Strahlen oder die Beugung ist um so ausgesprochener, je größer die Wellenlänge ist. Daß sich das sichtbare Licht augenscheinlich geradlinig fortpflanzt und den Brechungs- und Reflexionsgesetzen genau folgt, hat seinen Grund in der außerordentlich geringen Wellenlänge des Lichtes, welche im Verhältnisse zu den Dimensionen der Hindernisse, denen es bei seiner Fortpflanzung begegnet, der Linsen, die es durchsetzt usw. außerordentlich klein ist.

Um Hertzsche Wellen zu konzentrieren, bedürfte es bedeutend größerer Linsen, als die Länge dieser Wellen beträgt, sonst würde die Erscheinung der Beugung überwiegen und die Brechung würde sich nicht regelmäßig vollziehen. Bei Wellen von einigen Metern Länge müßte man den Linsen einen Durchmesser von einigen Kilometern geben.

Auch die Polarisationserscheinungen, sowie jene der totalen Reflexion und der Doppelbrechung wurden von A. Righi an den Strahlen elektromagnetischer Kraft gezeigt.

Entstehung und Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen.

Daß der Funke im Entlader eine wesentliche Bedingung für das Auftreten elektromagnetischer Schwingungen ist, läßt sich leicht zeigen, indem man die Funkenstrecke so weit verlängert, daß die Schlagweite überschritten wird, denn dann hört jede Spur von Funken im Resonator auf, obwohl die nun an den Elektroden der Funkenstrecke auftretenden Spannungen größer sind als zuvor.

Für das Zustandekommen elektromagnetischer Wellen ist die Beschaffenheit des erregenden Funkens von wesentlicher Bedeutung. Findet die Entladung zwischen zwei Spitzen statt oder zwischen einer Spitze und einer Platte, so gibt sie nur zu schwachen Wirkungen Veranlassung; ebenso unwirksam erweist sich nach Hertz die Entladung in verdünnten Gasen oder durch eine Geißlersche Röhre. Als gut wirksam zeigt sich vornehmlich der Funke zwischen zwei Kugeln; dabei darf er jedoch von einer bestimmten Länge nicht zu sehr abweichen. Verlangt man von einem Funken die Erzeugung kräftiger Wellen, so muß man ihn unter folgenden Umständen zustande kommen lassen: Er muß in außerordentlich kurzer Zeit einsetzen, seine Stromdichte darf vom ersten Augenblicke an nicht unter einer gewissen Grenze liegen und bei seiner Entstehung muß

Digitized by Google

der Spannungsabfall an den Elektroden ein urplötzlicher sein. Zu diesem Behufe muß die den Funken erzeugende Stromquelle in folgender Weise wirken: Sie muß zunächst an den Elektroden der Funkenstrecke elektrische Ladungen zu einer so hohen Potentialdifferenz aufhäufen, daß diese genügt, das Dielektrikum der Funkenstrecke gewaltsam und rapid zu durchbrechen; sie muß nach Einleitung der Entladung den Widerstand der Funkenstrecke auf einem entsprechend niedrigen Werte erhalten, daß Schwingungen entstehen können, doch darf dieser Widerstand nicht unter eine gewisse Grenze sinken, da sonst eine Art Kurzschlußstrom im Funken aufträte und der Funke keine Wellen mehr hervorbrächte oder, wie sich Hertz ausdrückt, inaktiv würde. Es ist klar, daß demnach der Ladevorgang zur kritischen Spannung, bei welcher eine Funkenentladung eintritt, in einer gewissen Beziehung stehen muß. Am einfachsten kann dies unter Zuhilfenahme der graphischen Darstellung deutlich gemacht werden. In Abb. 19 sollen die punktierten Linien die der Funkenstrecke von einem Induktorium im Verlaufe der Zeit zugeführten Ladungen bedeuten, die ausgezogene Linie die Spannung, welche an einer Elektrode herrscht. Diese Spannung wächst stufenweise, und zwar um so rascher, je größer die während eines Stromes zugeführten Elektrizitätsmengen sind und je rascher die Entladungen aufeinander folgen. Entspricht die Entladespannung einem der Werte *III, VI* oder *IX*, welche bei einer, zwei, bezw. drei Einzelladungen erreicht werden, so findet bei diesen Spannungen eine Funkenentladung statt, aber die Funken reißen rasch ab, weil die noch nachfolgenden Elektrizitätsmengen außerordentlich klein sind. Liegen die Werte der Entladespannung dagegen in der Höhe von *I, IV, VII* oder *X*, dann wird der Funkenstrecke nach Eintritt der Entladung noch eine verhältnismäßig große Elektrizitätsmenge zugeführt, so daß unter Flammenbogenbildung ein Kurzschlußstrom auftritt, welcher bei jeder noch folgenden Einzelladung eine Verstärkung erfährt, wie aus dem regelmäßig auftretenden, knatternden Geräusche

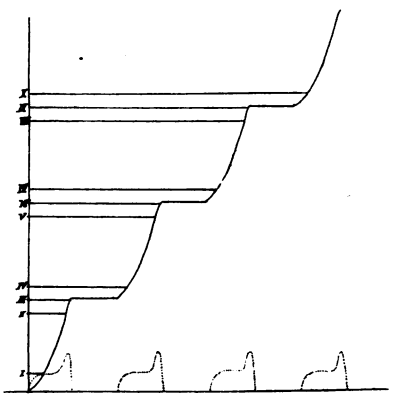


Abb. 19.

Digitized by Google

der Entladung zu entnehmen ist. Nur wenn die Entladespannung zwischen *I* und *II* oder *IV* und *V* oder *VII* und *VIII* liegt, und zwar in einer solchen Höhe, daß die nach Eintreten der Entladung noch zugeführte Elektrizitätsmenge gerade noch hinreicht, um die Funkenstrecke leitungsfähig zu erhalten, treten aktive Funken auf, welche Wellenbildung bewirken. Bei dieser Entwickelung ist vorausgesetzt, daß das Funkenpotential der Funkenstrecke — wenn man die letztere als Kondensator betrachtet — unterhalb der elektromotorischen Kraft der Elektrizitätsquelle, hier des Induktors, liegt, da im Gegenfalle die in aufeinanderfolgenden Zeiträumen der Funkenstrecke zugeführte Elektrizitätsmenge stetig abnehmen müßte und die Funkenstrecke das Entladepotential nicht erreichen würde. Die wirksamen Funken sind leicht kenntlich, sie sind weißglänzend, schwach gezackt und von scharfem Knalle begleitet.

Zur Erzeugung aktiver Funken muß also die Funkenstrecke entsprechend reguliert werden. Die Wirksamkeit der Funken bleibt jedoch nach erfolgter Einstellung der Funkenstrecke nicht in gleichmäßiger Weise erhalten; die geringfügigsten Umstände lassen oft, namentlich bei Entladungen geringer Intensität, ohne ersichtlichen Zusammenhang inaktive Funken auftreten. Das Inaktivwerden der Funken ist in der Regel von der Ablagerung einer Oxydschichte auf den Kugeln des Oszillators begleitet, was darauf hindeutet, daß die Funkenstrecke bereits sehr stark mit losgerissenen Metallteilchen gesättigt ist. Daß der Oxydüberzug auf den Elektroden den Entladevorgang beeinflussen muß, ist einleuchtend. Um daher andauernd aktive Funken zu erhalten, müssen die Oszillatorkugeln wiederholt abgeschmirgelt werden. Es hat sich endlich gezeigt, daß die Beleuchtung des primären Funkens die Befähigung zur Erregung schneller, elektrischer Bewegungen aufhebt; dies sieht man, wenn man in der Nähe des Funkens ein Stück Magnesiumdraht abbrennt, eine elektrische Bogenlampe entzündet oder sonstige Lichtquellen benützt, welche an ultravioletten Strahlen reich sind. Gleichzeitig verliert der Funke seinen knallenden Klang. Besonders empfindlich ist der Funke gegen das Licht einer zweiten Entladung. So bleiben die Schwingungen stets aus, wenn man aus den einander zugekehrten Flächen der Oszillatorkugeln mittels eines isolierten, kleinen Leiters Funken zieht, mögen diese noch so unscheinbar sein. Ja, es genügt, eine feine Spitze dem Funken zu nähern oder einen Punkt der inneren Flächen der Polkugeln mit einer Siegellackstange, einem Glasstabe oder einem Glimmerblättchen zu berühren, um die

Digitized by Google

Natur des Funkens zu verändern und die Schwingungen aufzuheben.

Aus den von Hertz abgeleiteten Gleichungen folgt, daß bei einer geradlinigen Schwingung, wie sie durch einen Hertzschen Oszillator hervorgerufen wird, die elektrische Kraft in der durch die Schwingung gelegten Äquatorialebene stets parallel zur Schwingungsrichtung ist. Sie nimmt bei Entfernung von der Schwingung beständig ab, anfangs schnell wie die dritte Potenz des Abstandes, später aber nur langsam, nämlich verkehrt proportional dem Abstande in der Richtung des Strahles und verkehrt proportional dem Quadrate des Abstandes, wenn man in der Richtung der Schwingung fortschreitet. Die graphische Darstellung liefert ein anschauliches Bild für die Verteilung der Kraft. In den Abb. 20—23 ist die Kraftverteilung in den Abschnitten einer Viertelperiode dargestellt,

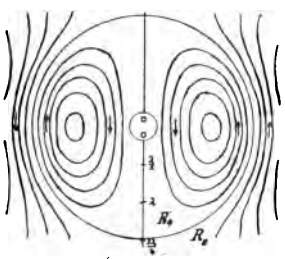


Abb. 20.

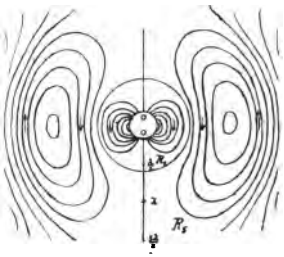


Abb. 21.

wie sie Hertz konstruiert hat. Zum Zeitpunkte $t = 0$ ist die Strömung im Zustande der stärksten Entwickelung, die Elektroden besitzen jedoch keine Ladung (siehe Abb. 20). Daher gehen keine Kraftlinien von ihr aus. Solche Linien beginnen von diesem Zeitpunkte angefangen aus den Elektroden hervorzuschießen. Diese Linien sind in eine Kugel eingeschlossen, welche anfangs sehr klein ist, aber sich schnell vergrößert und zur Zeit $t = \frac{T}{4}$ (siehe Abb. 21) schon den Raum R_1 erfüllt. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich diese Kugelfläche ausdehnt, ist zuerst viel größer als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, und zwar in unmittelbarer Nähe von der Schwingung nahezu unendlich. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß die Entstehung der Schwingungsvorgänge nicht allein den im Nullpunkte auftretenden Veränderungen zuzuschreiben ist, sondern aus dem Zustande des ganzen umgebenden Raumes

Digitized by Google

hervorgeht. Die Kugelfläche breitet sich weiter aus und nimmt zur Zeit $t = \frac{T}{2}$ den Raum R_2 ein (siehe Abb. 22). Zu diesem Zeitpunkte ist die elektrostatische Ladung der Pole in ihrer größten Entwickelung und die Zahl der Kraftlinien, welche die Elektroden verbinden, ein Maximum.

Von diesem Zeitpunkte angefangen beginnen die Kraftlinien, sich in den schwingenden Leiter zurückzuziehen, indem sie gleichzeitig ihre Energie in die magnetische Form verwandeln. Dabei zeigt sich ein eigentümliches Verhalten, welches in seinen Anfangsstadien aus Abb. 23 zu erkennen ist. Die Kraftlinien, welche sich weiter vom Schwingungsmittelpunkte entfernt haben, erleiden bei ihrer Zusammenziehung eine seitliche Einbiegung, welche sich mehr und mehr vertieft. Endlich schnürt sich von jeder der äußeren

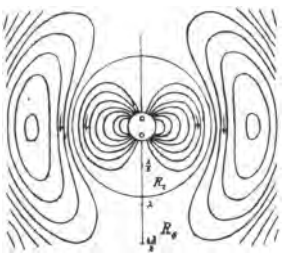


Abb. 22.

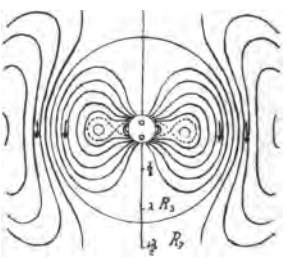


Abb. 23.

Kraftlinien eine in sich geschlossene Kraftlinie ab, welche selbständig in den Raum sich ausbreitet, wogegen der Rest der Kraftlinien in den Leiter zurücksinkt.

Die Zahl der rückkehrenden Kraftlinien ist sonach ebenso groß, als die Zahl der ausgesendeten, ihre Energie ist aber notwendigerweise um diejenige der abgeschnürten Teile verringert. Dieser Energieverlust entspricht der in den Raum ausgesandten Strahlung. Infolge solcher Einbußen müßte die Schwingung alsbald zur Ruhe kommen, es ist jedoch vorausgesetzt, daß die durch Strahlung verausgabte Energie in entsprechendem Maße der Funkenstrecke von der Stromquelle wieder zugeführt wird, d. h. daß die Schwingung eine ungedämpfte sei.

Es erfüllen dann (siehe Abb. 20) die abgeschnürten Teile der Kraftlinien den Raum R_4, während die von den Elektroden ausgehenden Kraftlinien vollständig verschwunden sind. Dabei muß man sich die Richtung der Pfeile umgekehrt denken. Es brechen

Digitized by Google

aber nun neue Kraftlinien aus den Elektroden hervor, welche die Kraftlinien, deren Entwickelung nun betrachtet wurde, in den Raum R_5 zusammendrängen. Im weiteren Verlaufe nehmen nun die abgeschnürten Kraftlinien die Räume R_6, R_7 und R_8 ein. Sie gehen mehr und mehr in eine reine Transversalwelle über und verlieren sich als solche mit Lichtgeschwindigkeit in der Entfernung. Diese von der Theorie geforderte Ausbreitung der Welle im Raume ist mit der von J. H. Poynting 1884 aufgestellten Theorie über die Bewegung der Energie im elektromagnetischen Felde in Übereinstimmung. Nach dieser Theorie bewegt sich die Energie überall in einer Richtung, welche auf den Richtungen der magnetischen und der elektrischen Kraft senkrecht steht, und zwar in solcher Fülle, daß in dieser Richtung in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit eine Menge tritt, welche durch das Produkt der elektrischen und der magnetischen Kraft, des Sinus des von ihnen eingeschlossenen Winkels und dem Faktor $\frac{v}{4\pi}$ dargestellt ist, worin v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes bedeutet.

In den vorstehenden Abb. 20—23 sind nur die elektrischen Spannungslinien dargestellt; diese sind von kreisförmigen, magnetischen

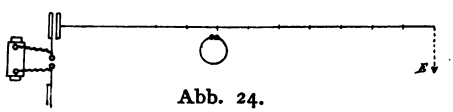


Abb. 24.

Kraftlinien begleitet, welche von den elektrischen eingeschlossen werden und auf diesen senkrecht stehen.

Diese elektromagnetischen Wellen erleiden an Leitern mehr oder weniger Reflexionen und erregen an ihrer Oberfläche Schwingungen. In dieser Art werden von Leitern aus den Wellen Stücke herausgeschnitten, welche sich gleichsam als elektromagnetische Schatten darstellen, welche wegen der Beugung bei langen Wellen nicht scharf abgegrenzt sind; je kürzer die Wellen jedoch sind, um so schärfer wird die Schattenabgrenzung. Durch vollkommene Dielektrika gehen die Wellen ungehindert hindurch.

Für die elektrische Wellentelegraphie ist jedoch auch die von Hertz untersuchte Fortpflanzung von Wellen längs Metalldrähten von besonderer Wichtigkeit. Stellt man einer Hälfte eines Oszillators eine Metallplatte gegenüber, welche mit einem geradegespannten, langen und zur Erde abgeleiteten Drahte in Verbindung steht (siehe Abb. 24), so treten gleichzeitig mit den oszillierenden Entladungen

Digitized by Google

in der Funkenstrecke Veränderungen im Ladungszustande der Metallplatte ein. Diese Veränderungen pflanzen sich längs des Drahtes bis zur Erde fort. Nähert man diesem Drahte einen Kreisdrahtresonator, so treten in diesem Funken auf, wenn Entladungen im Oszillator stattfinden. Daß die Wellen im Drahte dieselbe Schwingungsdauer besitzen wie die Schwingungen des Oszillators, wird dadurch bewiesen, daß man dem Drahte Resonatoren verschiedener Länge nähert. Die stärksten Funken treten in jenen Resonatoren auf, welche auf die Schwingung des Oszillators abgestimmt sind. Daß sich tatsächlich längs des Drahtes räumlich und zeitlich regelmäßige Wellen ausbilden, kann man durch die Bildung stationärer Wellen längs des Drahtes zeigen. Zu diesem Behufe wird der Erdanschluß von dem Drahte entfernt. Nähert man dann dem Drahte den Resonator so, daß der Draht in die Ebene des Resonators fällt und dessen Funkenstrecke dem Drahte zugekehrt ist, so beobachtet man Folgendes, wenn man den Resonator vom Drahtende an in seiner Ebene gegen den Oszillator zu bewegt: Am Drahtende sind die Funken im Resonator sehr klein, bei Annäherung an die Funkenstrecke werden sie größer, nehmen dann beinahe bis zum vollständigen Verschwinden wieder ab, um von da an neuerlich zu wachsen. Damit ist ein Knotenpunkt bestimmt; solche Knotenpunkte lassen sich mehrere finden. Sie befinden sich in gleichen Abständen voneinander. Am klarsten und schönsten zeigt sich die Erscheinung, wenn man dem Drahte eine solche Länge gibt, daß er auf die Schwingung des Oszillators abgestimmt ist; nur in diesem Falle zeigt sich eine deutliche Unterteilung des ganzen Drahtes in halbe Wellenlängen. Multipliziert man die so bestimmte Wellenlänge mit der Schwingungszahl des Oszillators, so ergibt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, und zwar gleich jener des Lichtes. Dieses Ergebnis kann nicht wundernehmen, wenn man bedenkt, daß derartige Schwingungen in das Innere der Drähte kaum tiefer eindringen als Lichtstrahlen in einen reflektierenden Metallspiegel, also eigentlich nur im umgebenden Dielektrikum vor sich gehen. Das Material, aus dem die Drähte bestehen, ist, wie Hertz nachgewiesen hat, für diese Erscheinung belanglos; Eisen- und Kupferdrähte lieferten dasselbe Ergebnis. Auch längs gutleitender Flüssigkeiten, wie Schwefelsäure, konnte die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit festgestellt werden. Hiernach kann man mit Recht vermuten, daß das Vorhandensein von derlei Drähten nur die Form der Wellen beeinflußt und diese nötigt, sich hauptsächlich in der

Digitized by Google

Richtung des Drahtes fortzupflanzen, anstatt sich gleichmäßig nach allen Seiten auszubreiten.

Eine wichtige Versuchsanordnung zur Demonstration stehender Wellen an Drähten ist jene von E. Lecher, nicht nur wegen der scharfen Einstellung, welche sie gestattet, sondern auch, weil sie die Grundlage für ein System der Wellentelegraphie bildet, wie später ausgeführt werden wird. An jede Seite des Oszillators ist eine quadratische Metallplatte angeschlossen (siehe Abb. 25). Jeder dieser Platten ist eine kongruente Platte im Abstande von 10 cm gegenübergestellt, welch letztere in je einen Draht ausgeht, der in einer Entfernung von 30 cm von dem benachbarten parallel geführt ist. Über den parallelen Drähten ist quer eine verschiebbare Brücke *B* aus Kupferdraht gelagert. Durch die Verschiebung der Brücke kann die Eigenschwingung des Systems, welches offenbar aus der Funkenstrecke, zwei Kondensatoren, der angeschlossenen Draht-

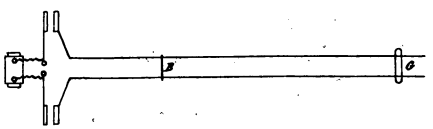


Abb. 25.

strecke und der Brücke besteht, reguliert werden. Um zu erkennen, ob und wann dieses Schwingungssystem mit den noch übrigen Teilen der parallelen Drähte in Resonanz ist, verschiebt Lecher eine quer über die Drähte gelegte Geißlersche Röhre *G* so lange, bis sie aufleuchtet; dann ist Resonanz zwischen beiden Schwingungskreisen eingetreten. Der durch die Brücke abgetrennte Drahtkreis schwingt in einer halben Wellenlänge, daher läßt sich auf diese Weise die Wellenlänge eines Schwingungssystemes leicht bestimmen. Verschiebt man die Brücke gegen die Funkenstrecke zu, so verlischt die Geißlersche Röhre; bei weiterer Verschiebung gegen die Funkenstrecke findet man neuerlich Brückenstellungen, bei welchen die Röhre aufleuchtet. Durch die Brückenverschiebung ist die Wellenlänge des primären Schwingungskreises verkürzt, die des sekundären Kreises verlängert worden; es haben sich daher in dem letzteren stehende Schwingungen mit Knotenpunkten ausgebildet. An diesen kann man neue Drahtbrücken auflegen, ohne daß die Geißlersche Röhre etwas von ihrer Helligkeit verliert.

Digitized by Google

II. Teil.

Die Theorie der Wellentelegraphie.

Das Prinzip der elektromagnetischen Wellentelegraphie.

Das Prinzip der elektromagnetischen Wellentelegraphie besteht darin, daß von einem beliebig gewählten Orte, der Sendestation, in bestimmt gewählten Zwischenräumen elektromagnetische Wellen entsendet werden, welche in einem Schwingungssysteme an einem anderen Orte, der Empfangsstation, Schwingungen hervorrufen; diese Impulse werden dann mittels eigener Apparate, der Wellenindikatoren, auf den Stromkreis eines Empfangsapparates (eines Morseschreibapparates odes Telephons) übertragen und so die von der Sendestation ausgegangenen Nachrichten aufgenommen.

Die zu dem Zwecke der Wellenerzeugung praktisch verwendeten Systeme unterscheiden sich von den von Hertz verwendeten Apparaten hauptsächlich durch ihre unsymmetrische Gestaltung. Mit der einen Seite des Oszillators ist ein langer, vertikal nach aufwärts gespannter Draht, die sogenannte Antenne, verbunden, während die andere Seite des Oszillators gewöhnlich mit der Erde in leitende Verbindung gebracht ist. In gleicher Weise ist in der Empfangsstation der Wellenindikator einerseits an eine Antenne und andererseits an Erde angeschlossen.

Manchmal wurde jedoch statt der Erdverbindung an die Apparate ein Draht oder eine sonstige Metallmasse von gleicher Kapazität wie die der Antenne angeschlossen.

Später wurde auch der direkte Anschluß der Antenne an die Funkenstrecke, bezw. an den Wellenindikator verlassen. Zur Erzeugung der Wellen kamen vollkommen geschlossene Stromkreise, bestehend aus einer Funkenstrecke, einer Selbstinduktionsspule und einem Kondensator, zur Verwendung, von welchen die Antenne entweder direkt abgezweigt oder mit welchen die Antenne z. B. induktiv gekuppelt wurde. In gleicher Weise war die Empfangsantenne mit einem vollkommen geschlossenen Stromkreise in Verbindung, welcher den Wellenindikator enthielt.

Da die Schwingungsverhältnisse in Schwingungssystemen, wie sie die Wellentelegraphie verwendet, teilweise von jenen in den Hertzschen Oszillatoren abweichen, außerdem aber die Schwingungs-

Digitized by Google

erscheinungen an den Drähten von Wichtigkeit sind, so scheint ein näheres Eingehen in die Schwingungsvorgänge geboten.

Schwingungen in geradlinigen Drähten.

a) Erzeugung von Schwingungen.

Aus einigen, ohne große Mühe durchzuführenden Grundversuchen kann man die hauptsächlichsten Eigenschaften der elektrischen Schwingungen in geradlinigen Drähten erkennen.

1. Verbindet man den einen Pol eines in Tätigkeit gesetzten Funkeninduktors mit Erde oder einer entsprechenden Kapazität, so kann man es leicht erreichen, daß vom zweiten Pole des Funkeninduktors kräftige Funken auf einen blanken Kupferdraht überspringen, welcher in passend gewählter Entfernung isoliert und geradlinig ausgespannt wurde (Abb. 26). Die überspringenden Funken setzen den Draht in elektrische Schwingungen, welche von der Art der Funkenerzeugung und der Frequenz der Funken nur bis zu einem gewissen Grade abhängig sind. Es richtet sich nämlich die Funkenfrequenz in erster Linie nach der Länge des gespannten Drahtes. In diesem pulsiert ein sehr rascher Wechselstrom, dessen Amplituden räumlich und zeitlich verschieden sind; die Schwingung verläuft längs des Drahtes in einer ganz bestimmten, charakteristischen Weise, welche man leicht ersehen kann, wenn man die in den einzelnen Punkten des Drahtes auftretenden Ladespannungen beispielsweise mit einem Funkenmikrometer oder die in den einzelnen Teilen fließenden Ströme, am besten mit einem Hitzdrahtinstrumente, bestimmt. Trägt man die mit dem Funkenmikrometer längs des Drahtes gemessenen Längen der Entladungsfunken f, welche ein Maß für die Maximalspannungen darstellen, als Funktion der Entfernung l von dem Anfange des gespannten Drahtes auf, so ergibt sich die in Abb. 26 dargestellte Kurve. Diese läßt erkennen, daß wir es mit einer stehenden Schwingung zu tun haben, welche an beiden Drahtenden Spannungsbäuche, in der Mitte aber einen relativen Spannungsknoten aufzuweisen hat. Man darf also im vorliegenden Falle mit Recht von einer Eigenschwingung des Drahtes sprechen.

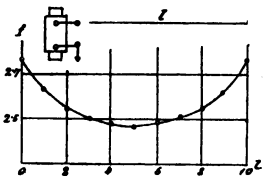


Abb. 26.

Digitized by Google

Läßt man den Funkenstrom von dem Funkeninduktor nicht auf den Anfangspunkt des Drahtes übergehen, sondern auf einen zwischen Anfang und Mitte des Drahtes liegenden Punkt, so ergibt die Absuchung des Drahtes mit dem Funkenmikrometer die in Abb. 27 dargestellte Spannungskurve. Diese zeigt gegenüber der vorigen Kurve eine Verzerrung, welche man sich durch an den Drahtenden stattfindende Reflexionen der vom Eintrittspunkte sich verbreitenden Schwingungen hervorgebracht denken kann. Gleichwohl treten auch hier die Spannungsbäuche an den Enden und der Knoten in der Mitte auf. Es scheint demnach die Grundschwingung des Drahtes von Oberschwingungen begleitet, wie aus dem Vergleiche der beiden Kurven 26 und 27 hervorgeht. Im allgemeinen sind diese Oberschwingungen im Vergleiche zu der Grundschwingung von so geringer Intensität, daß sie in der Praxis

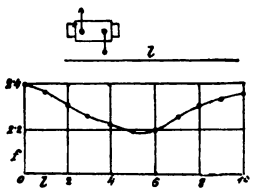


Abb. 27.

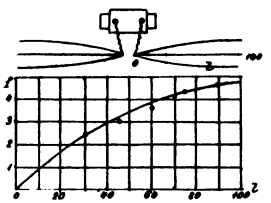


Abb. 28.

meist vernachlässigt werden dürfen. Man kann somit die Tatsache feststellen, daß jeder geradlinig ausgespannte Draht durch regelmäßig aufeinander folgende elektrische Erschütterungen in Eigenschwingungen gerät.

2. Läßt man zwischen den Polen eines Funkeninduktors Funken überspringen, nachdem man an die Pole gleich lange Drähte angeschlossen und in der Verlängerung der Funkenstrecke isoliert ausgespannt hat (Abb. 28), so treten in den beiden Drähten Eigenschwingungen auf und zwar derart, als wenn die Funken eine leitende Brücke zwischen beiden Drähten bilden würden. Dies kann jedoch durch Absuchung des Drahtes mit dem Funkenmikrometer nicht ohne weiteres erkannt werden, weil außer der durch die Funken erregten Eigenschwingung noch die viel langsamer vor sich gehende Schwingung der Sekundärwickelung des Funkeninduktors sich in den Drähten geltend macht. Im Funkenmikrometer wird sonach der viel kleinere Funke, welcher durch die Eigenschwingung des Drahtsystemes hervorgerufen wird, durch die viel stärkeren Funken,

Digitized by Google

welche durch die Schwingung der Sekundärwickelung des Funkeninduktors entstehen, überdeckt und so die Reinheit der Erscheinung verschleiert. Man braucht aber bloß das an der Funkenstrecke liegende Ende des zu prüfenden Drahtes mit Erde zu verbinden und so die Schwingung der Induktorwickelung zur Erde abzuleiten, um ein klares Bild zu erhalten. In Abb. 28 ist die bei einem derartigen Experimente gemessene Funkenlänge als Funktion des Abstandes von der Funkenstrecke anschaulich gemacht; bei diesem Versuche wurden an der Funkenstrecke abgerundete, 3 mm starke und 1 m lange Messingdrähte verwendet. Die Anschauung dieser Kurve lehrt sofort, daß diese eine Sinuslinie ist, was dartut, daß die Schwingung eines derartigen Drahtsystems in einer für praktische Zwecke ausreichenden Genauigkeit das harmonische Gesetz befolgt. Ein hübscher Versuch, der die stehende Welle, beziehungsweise die Zunahme der Spannung gegen das Ende der Drähte augenscheinlich macht, läßt sich leicht anstellen: „Hängt man an einen dieser Drähte in gleichen Abständen z. B. fünf Geißlersche Röhren, wobei man nicht vergessen darf, den betreffenden Draht an der Funkenstrecke zu erden, so kann man deutlich eine intensive Zunahme der Helligkeit der Röhren gegen das Drahtende hin wahrnehmen, wenn der Versuch in verdunkeltem Raume vorgenommen wird. Wendet man statt der gewöhnlichen Funkenstrecke eine solche im Ölbade an, so kann man es bei Anwendung stärkerer Entladespannungen dahin bringen, daß die Drähte mit starker Intensitätszunahme gegen die Enden hin leuchtend werden. Diese Spannungszunahme gegen die Enden hin läßt sich auch bei Verwendung geringerer Spannungen durch photographische Aufnahmen nachweisen.

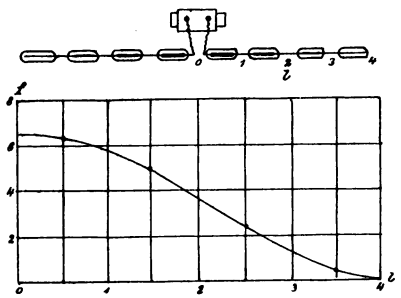


Abb. 29.

3. Schaltet man an die Pole des Funkeninduktors statt der Drähte je eine Reihe von Glühlampen mit geradlinigem Kohlenfaden an (Abb. 29), so erglühen die Kohlenfäden, wenn man mit starken Entladespannungen arbeitet. Die Lampen leuchten um so heller, je näher sie der Funkenstrecke stehen. Mißt man die Spannungsdifferenzen an den einzelnen Glühlampen, so findet man, unter

Digitized by Google

Berücksichtigung des Umstandes, daß sie den durch die Lampen fließenden Strömen proportional sind, daß letztere ebenfalls näherungsweise dem harmonischen Gesetze folgen, jedoch gegenüber der Spannungskurve um 90° in der Phase verschoben sind. Die Schwingungen des Stromes zeigen in der Mitte, d. i. in der Funkenstrecke einen Bauch, an den Enden dagegen Knotenpunkte. Bei diesem Versuche ist die Herstellung einer Erdverbindung an der Funkenstrecke nicht nötig, weil die langsamen Schwingungen der Sekundärwickelung des Funkeninduktors zu der Potentialdifferenz der einzelnen Lampen nur wenig beitragen.

4. Wählt man wieder die Versuchsanordnung der Abb. 28, spannt jedoch noch einen beliebig langen Sekundärdraht parallel zum Primärdrahte isoliert aus, so erregen die vom Primärdrahte ausgehenden Impulse in dem Sekundärdrahte Schwingungen. Dieser letztere zeigt stets Spannungsbäuche an den Enden und einen relativen Spannungsknoten in der Mitte, er schwingt in seiner Eigenschwingung. Ist die Länge des Sekundärdrahtes größer als jene des Primärdrahtes und verkürzt man ersteren nach und nach immer mehr beiderseits je um ein gleiches Stück und beobachtet jedesmal die Spannung an den Drahtenden, so findet man, daß die Spannungen zunächst wachsen, dann aber von einer bestimmten Drahtlänge angefangen wieder abnehmen (Abb. 30). Die der größten Endspannung entsprechende Drahtlänge wurde Resonanzlänge genannt. Hat der Draht die Resonanzlänge, dann stimmt die Frequenz seiner Eigenschwingung mit der im Primärdrahte vorhandenen Schwingung überein. Da nun die Länge des schwingenden Drahtes gleich der halben Wellenlänge seiner Eigenschwingung ist, so ist auch die Resonanzlänge des Sekundärdrahtes gleichzeitig die halbe Wellenlänge der im Primärdrahte erzeugten Schwingungen.

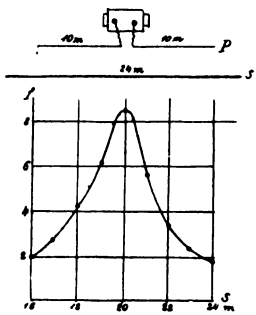


Abb. 30.

Werden an die Funkenstrecke längere Primärdrähte angehängt, so ist deren Länge stets gleich der halben Wellenlänge der entstehenden Schwingung, denn die Frequenz des Funkenstromes paßt sich der Eigenfrequenz der angehängten Primärdrähte an. Es ist selbstverständlich, daß dies bei kurzen Primärdrähten nicht der Fall ist, weil dann die Individualität der Schwingung in den Drähten

Digitized by Google

nicht für die Gesamtschwingung des Systems, das aus dem Funkeninduktor und aus den Drähten sich zusammensetzt, bestimmend sein kann.

5. Um zu untersuchen, ob diese einfache Beziehung, welche zwischen der Länge der erzeugten Welle und der Länge des Primärdrahtes besteht, nicht etwa eine zufällige, den Dimensionen des verwendeten Primärdrahtes gerade entsprechende sei, wurden Sender von verschiedener Querschnittsfläche und verschiedener Querschnittsform an die Funkenstrecke angehängt und die Resonanzlänge in allen Fällen vermittelst eines Kupferdrahtes von 1 mm Durchmesser bestimmt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die gefundenen Resultate:

An die Funkenstrecke angehängte Sender	Senderlänge in cm	Resonanzlänge in cm	Differenz in %
Draht von 0,25 mm Durchmesser	724	735	+ 1,5
Messingrohr von 51 mm Durchmesser und abschließenden Kalotten	724	710	− 1,9
Messingband von 1 × 51 mm² Querschnitt, hochkant |	724	710	− 1,9
Dasselbe, flach —	724	710	− 1,9

Die Abweichungen der Resonanzlänge in den vorstehend angeführten Versuchen von der Senderlänge sind, trotz der bedeutenden Verschiedenheit der verwendeten Querschnitte, kleiner als 2%, was zum Teil auf die nicht absolute Genauigkeit der angewendeten Meßmethode zurückzuführen ist. Außerdem kommen derartige Differenzen bei der praktischen Anwendung kaum in Betracht und endlich ist die Verschiedenheit der Sendedrähte in der Praxis viel geringer, so daß man das experimentell gefundene Gesetz als in technischer Beziehung gültig auffassen kann, um so mehr, als sich diese Versuchsergebnisse theoretisch vollkommen begründen lassen.

b) Theorie der elektrischen Schwingung in einem geradlinigen Leiter.

Es seien zwei gleich lange Drähte, jeder von der Länge l, in einer geraden Linie angeordnet und mit ihren abgerundeten Enden mit einem Funkeninduktor oder einer anderen Hochspannungsquelle

Digitized by Google

in Verbindung gesetzt (Abb. 31). Der Abstand der abgerundeten Drahtenden voneinander sei so reguliert, daß in der so gebildeten Funkenstrecke eine plötzliche Funkenentladung eintritt, sobald die Ladespannung ihr Maximum erreicht hat. Da die Ladung verhältnismäßig langsam vor sich geht und sich in dem Zustande der Verteilung der Elektrizität an der Oberfläche der beiden Drähte nichts ändern würde, wenn man zu einem beliebigen Zeitpunkte vor der Funkenentladung mit der Fortsetzung der Ladung innehalten und gleichzeitig die Induktorpole von den Drähten abschalten würde, so kann man ohne weiteres in jedem Zeitpunkte vor dem Eintritte der Funkenentladung einen stabilen Gleichgewichtszustand der Elektrizitätsverteilung in beiden Drähten annehmen. Das heißt, man darf voraussetzen, daß unmittelbar vor der Entladung in keinem Drahtquerschnitte ein Strom fließe. Sobald aber die Entladung eintritt, geben die Ladungen in der Nähe der Funkenstrecke sofort einen Maximalstrom ab, weil man den Funken als einen Widerstand ohne Selbstinduktion ansehen kann. Die von der Funkenstrecke weiter entfernten Ladungen geben natürlich um so geringere Ströme ab, je weiter sie von der Funkenstrecke entfernt sind, da sie die Selbstinduktion des zwischen ihnen und der Funkenstrecke liegenden Drahtstückes, sowie dessen Widerstand zu überwinden haben. Bezeichnet man mit i den Momentanstrom in der Entfernung x vom linken Drahtende zu Beginn der Entladung, so wird dieser nach dem eben Gesagten für $x = l$ das Maximum haben und von der Funkenstrecke aus nach beiden Seiten in symmetrischer Weise abnehmen. Die ausgezogene Kurve in Abb. 31 stellt sonach die Funktion $i = f(x)$ in ihrer ungefähren Gestalt dar, die punktierte Linie dagegen deutet an, wie sich diese Kurve zu einem späteren Zeitpunkte der Entladung verflachen wird.

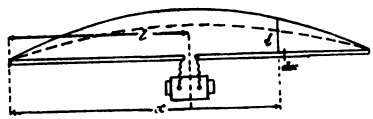


Abb. 31.

Bezeichnet man die Potentialdifferenz an den Enden eines Leiterelementes dx mit dV und stellt man Widerstand, Selbstinduktionskoeffizienten und Kapazität der Längeneinheit des Drahtes durch die Zeichen W_1, L_1 und C_1 dar, so muß für das Leiterelement dx die folgende Gleichung gelten:

$$dV = W_1 i\,dx + L_1 \frac{di}{dt} dx.$$

Digitized by Google

Bezeichnet man weiter die Ladung der Längeneinheit des Drahtes mit dq, so gilt auch die Gleichung:

$$dV = \frac{dq\,dx}{C_1\,dx} = \frac{dq}{C_1}.$$

Nimmt man in dem in Abb. 32 dargestellten Leiterelemente dx die Stromrichtung in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung an, so wird in der Zeit dt bei A die Elektrizitätsmenge $i\,dt$ in das Element eintreten, dagegen bei B die Elektrizitätsmenge $\left(i - \frac{di}{dx}dx\right)dt$ austreten. Die Differenz dieser Elektrizitätsmengen repräsentiert die Ladung des Leiterelementes dx:

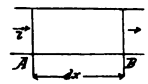


Abb. 32.

$$dq\,dx = \frac{di}{dx}dx\,dt$$

oder

$$dq = \frac{di}{dx}dt$$

und mit Benutzung der früher aufgestellten Gleichung ergibt sich $dV = \frac{1}{C_1}\cdot\frac{di}{dx}dt$, was, in die erste Gleichung eingesetzt, diese in

$$\frac{1}{C_1}\cdot\frac{di}{dx}dt = W_1\,i\,dx + L_1\frac{di}{dt}dx$$

verwandelt.

Daraus kann man durch Differentiation nach x ableiten:

$$\frac{1}{C_1}\cdot\frac{d^2i}{dx^2} = W_1\cdot\frac{di}{dt} + L_1\cdot\frac{d^2i}{dt^2} \qquad (1)$$

Dieser Gleichung genügt die Funktion

$$i = e^{\varrho t}(A\cos mx + B\sin mx), \qquad (2)$$

denn es ist $\frac{di}{dx} = \varrho\,i$, $\frac{d^2i}{dx^2} = \varrho^2 i$ und $\frac{d^2i}{dt^2} = -m^2 i$. Setzt man dies in Gleichung (1) ein, so ergibt sich: $i\left(L_1\varrho^2 + W_1\varrho + \frac{m^2}{C_1}\right) = 0$, d. h. die Bedingung dafür, daß die Funktion (2) ein Integral der Gleichung (1) ist, ist:

$$L_1\varrho^2 + W_1\varrho + \frac{m^2}{C_1} = 0. \qquad (3)$$

Digitized by Google

Zur Bestimmung der Konstanten darf man als Grenzbedingungen festsetzen:

für $t = 0$ und $x = 0$ ist $i = 0$ und

für $t = 0$ und $x = 2l$ ist $i = 0$.

Die erste Grenzbedingung in (2) eingesetzt, ergibt $A = 0$, die zweite $m = \frac{\pi}{2l}, \frac{2\pi}{2l}, \frac{3\pi}{2l}, \ldots\ldots \frac{n\pi}{2l}$. Schließen wir die Oberschwingungen, welche dem zweiten, dritten, ... $n$ten Werte von m entsprechen, wegen ihrer geringen Intensität von der Rechnung aus, so wird $i = e^{\varrho t} B \sin \frac{\pi x}{2l}$, worein ϱ aus Gleichung (3) mit $\varrho = -\frac{W_1}{2L_1} \pm \sqrt{\frac{W_1^2}{4L_1^2} - \frac{1}{C_1 L_1} \cdot \frac{\pi^2}{4l^2}}$ einzusetzen ist. Bei allen in der Praxis der Wellentelegraphie vorkommenden Fällen ist das erste Glied der Quadratwurzel millionenmal kleiner als das zweite und kann daher vernachlässigt werden. Unter diesen Umständen kann man die beiden Werte von ϱ schreiben: $\varrho_1 = -\frac{W_1}{2L_1} + p\sqrt{-1}$ und $\varrho_2 = -\frac{W_1}{2L_1} - p\sqrt{-1}$, worin $p = \frac{\pi}{2l}\sqrt{\frac{1}{C_1 L_1}}$ ist. Es ergibt sich somit als allgemeine Lösung der Gleichung (1)

$$i = B \sin \frac{\pi x}{2l} \cdot e^{-\frac{W_1 t}{2L_1}} \left(D e^{pt\sqrt{-1}} + E e^{-pt\sqrt{-1}} \right),$$

welche Gleichung unter Verwendung der Moivreschen Sätze übergeht in

$$i = a e^{-\frac{W_1 t}{2L_1}} \sin \frac{\pi x}{2l} \sin (pt + \delta),$$

in welcher a und δ Konstante bedeuten, die, wie folgt, leicht auszuwerten sind. Beim Beginn der Funkenentladung, d. i. zur Zeit $t = 0$, muß in der Funkenstrecke, also im Punkte $x = l$, der Strom sein Maximum haben. Dieser Bedingung kann nur entsprochen werden, wenn a der Maximalwert des Stromes und $\delta = \frac{\pi}{2}$ ist. Führt man nun an Stelle der für die Längeneinheit geltenden Konstanten W_1, L_1 und C_1 die der ganzen Drahtlänge entsprechenden Werte W, L und C ein, so gelten folgende Übergangsgleichungen:

Digitized by Google

$$W = 2l\,W_1,\quad C = 2l\,C_1 \text{ und } L = 2l\,L_1.$$

Hierdurch gelangt man zu der folgenden Schlußgleichung:

$$i = a \cdot e^{-\frac{Wt}{2L}} \sin\frac{\pi x}{2l} \cos\left(\pi\sqrt{\frac{1}{CL}}\,t\right). \tag{4}$$

Aus dieser geht hervor, daß in jedem Punkte des Drahtes — die Punkte $x = 0$ und $x = 2l$ ausgenonmmen, wo der Annahme gemäß niemals ein Strom auftritt — ein gedämpfter Wechselstrom vorhanden ist, dessen Amplitude um so kleiner ist, je größer der Abstand des Punktes x von der Funkenstrecke ist. Der zeitliche Verlauf der Wechselströme ist durch den Faktor $\cos\left(\pi t\sqrt{\frac{1}{CL}}\right)$ bestimmt, d. h. es treten Strommaxima ein zu den Zeiten $t = 0$, $2\sqrt{CL}$, $4\sqrt{CL}$, ... und Stromminima zu den Zeiten $t = \sqrt{CL}$, $3\sqrt{CL}$, $5\sqrt{CL}$, ... Die Schwingungszeit

$$T = 2\sqrt{CL} \tag{5}$$

ist an allen Punkten des Drahtes dieselbe; es findet die Veränderung des Schwingungszustandes überall gleichzeitig und in gleichem Sinne statt. Man hat es also mit einer stehenden Schwingung zu tun.

Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung elektrischer Wellen durch den Raum und längs geradliniger Drähte ist $v = 3 \cdot 10^{10}$ cm; bezeichnet man nun die Wellenlänge, d. i. der Abstand zweier aufeinander folgender Punkte von gleicher Schwingungsphase, mit λ, dann ist in dem vorliegenden Falle $\lambda = v\,T = 2v\sqrt{CL}$, wobei C und L in den Einheiten des elektromagnetischen Maßsystemes ausgedrückt sind. Wenn man berücksichtigt, daß $v^2\,C$ die Größe der Kapazität im elektrostatischen Maßsysteme darstellt, so ergibt sich für die Wellenlänge der einfache Ausdruck $\lambda = 2\sqrt{CL}$, worin jetzt C und L in Zentimetern ausgedrückt sind.

Nach Hertz kann man für den Selbstinduktionskoeffizienten L eines Drahtes mit dem Radius r und von der Länge $2l$ die Formel $L = 4l\left(\log\text{ nat}\frac{4l}{r} - 0{,}75\right)$ verwenden. Wenn man berücksichtigt, daß log nat 2 nahezu gleich 0,75 ist, so übergeht obiger Ausdruck in $L = 4l\log\text{ nat}\frac{2l}{r}$. Nun ist die elektrostatische

Digitized by Google

Kapazität eines geradlinigen Drahtes von den angegebenen Dimensionen $C = \frac{2l}{2 \log \text{nat} \frac{2l}{r}}$. Setzt man diese Werte in die Gleichung für λ ein, so übergeht sie in $\lambda = 4l$.

Diese Rechnung liefert also eine Bestätigung des experimentell gefundenen Resultates: Die Gesamtlänge eines Drahtes, längs welches elektrische Schwingungen stattfinden, ist gleich der halben Wellenlänge der erzeugten Schwingung.

Um zu bestimmen, in welcher Weise die Ladung über den Draht verteilt ist, erinnere man sich, daß die Ladung der Längeneinheit des Drahtes gefunden wurde mit $dq = \frac{di}{dx} dt$. Wird die elektrostatische Maximalladung, welche an jedem Punkte des Drahtes der mit dem Funkenmikrometer bestimmten Spannung proportional ist, für die Längeneinheit und die Entfernung x mit q_0 bezeichnet, so hat man:

$$q_0 = \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{di}{dt} dx = \frac{a\pi}{2l} \cos \frac{\pi x}{2l} \int_0^{\frac{T}{4}} e^{-\frac{Wt}{2L}} \cos\left(\frac{\pi t}{\sqrt{CL}}\right) dt =$$

$$\frac{a\pi}{2l} \cos \frac{\pi x}{2l} \Big/ e^{-\frac{Wt}{2L}} \sin\left[\frac{\pi t}{\sqrt{CL}} - \text{arctang}\left(\frac{W}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}\right)\right] \Big/ =$$

$$\frac{a\pi}{2l} \cos \frac{\pi x}{2l} \cdot \frac{e^{-W\sqrt{\frac{C}{L}}} + \frac{W}{2L}}{\frac{W^2}{4L^2} + \frac{\pi^2}{CL}}.$$

Man sieht also, daß sich die Maximalladung gleichfalls nach einem harmonischen Gesetze über den Draht verteilt. Ihre höchsten Werte hat sie an den Enden, d. i. für $x = 0$ und $x = 2l$, den Minimalwert aber in der Funkenstrecke, d. i. für $x = l$, was mit der durch das Experiment gefundenen Erkenntnis vollständig übereinstimmt.

Vernachlässigt man die Dämpfung, so liefern die Formeln einfache Ergebnisse, deren Deutung leicht ist. Bei Unterdrückung des Dämpfungsfaktors $e^{-\frac{Wt}{2L}}$ erhalten wir für die Maximalladung:

Digitized by Google

$$q_0 = \frac{a\pi}{2l} \cdot \cos\frac{\pi x}{2l} \cdot \frac{\sqrt{CL}}{\pi} \cdot \sin\frac{\pi}{2} = a\frac{\sqrt{CL}}{2l} \cdot \cos\frac{\pi x}{2l} \cdot$$

In diesem Falle ist die mittlere, räumliche Maximalladung für die Längeneinheit $= \frac{a\sqrt{CL}}{l\pi}$ und die Gesamtladung des einen Drahtes von der Länge l: $Q = \frac{a}{\pi}\sqrt{CL}$.

In gleicher Weise erhält man durch Unterdrückung der Dämpfung für die Intensität: $i = a \sin\frac{\pi x}{2l} \cos\frac{\pi t}{\sqrt{CL}}$, daher am Punkte x den Maximalwert $a \sin\frac{\pi x}{2l}$ und den Mittelwert des räumlichen Maximalstromes $J = \frac{2a}{\pi}$.

Hieraus ergibt sich:

$$\frac{J^2}{4} = \frac{Q^2}{CL},$$

oder wenn man die Kapazität jedes der beiden angeschlossenen Drähte von der Länge l mit $C' = \frac{C}{2}$ und deren Selbstinduktionskoeffizienten mit $L' = \frac{L}{2}$ bezeichnet, so erhält man: $\frac{Q^2}{2C'} = \frac{J^2L'}{2}$.

Das bedeutet, daß, wenn die Dämpfung nicht berücksichtigt wird, die von der Energiequelle den Drähten zugeführte Ladung sich vollständig in strömende oder magnetische Energie umsetzt und daß bei Aufhören der weiteren Energiezufuhr sich die magnetische Energie wieder in Ladungsenergie verwandelt, so daß ein andauerndes Pendeln zwischen beiden Energieformen stattfindet.

Wenn auch die Ladungsenergie unzweifelhaft Fernwirkungen ausübt, so sind sie nicht sehr weittragend, da die entgegengesetzten Ladungen beider Leiterhälften sich in ihren Wirkungen schon bei mäßiger Entfernung fast vollständig aufheben. Die eigentliche Fernwirkung rührt von der strömenden oder magnetischen Energieform her und folgt den Induktionsgesetzen. Daraus ergibt sich, daß die Form der Strömung längs linearer Leiter die günstigste ist, daher eine entsprechende Fernwirkung am besten durch Verwendung langer, gerader und paralleler Leiter erzielt werden kann.

Digitized by Google

Der Umsatz einer Energieform in die andere erfolgt nicht ohne Verluste; bei jeder Schwingung geht ein Bruchteil der längs des Drahtes schwingenden Energie scheinbar verloren. Dieser Verlust wird unter dem Begriffe Dämpfung zusammengefaßt, er setzt sich aus mehreren Teilen zusammen: Erstens aus dem durch die Umwandlung der elektrischen in die Wärmeenergie infolge des Ohmschen Widerstandes bedingten Verluste; dieser Teil ist wegen des großen Widerstandes in der Funkenstrecke kein unbeträchtlicher. Zweitens aus dem durch Ladungsverluste bedingten, welcher sich aus der nicht unendlich großen, dielektrischen Festigkeit des umgebenden Mittels ergibt, und endlich drittens aus der Ausstrahlung elektromagnetischer Energie in den Raum, welche nicht mehr zurückkehrt und sich nach dem Gesetze von Poynting nach allen Richtungen ausbreitet. Der letzte Teil ist der für die Wellentelegraphie eigentlich nutzbare Teil der geleisteten Arbeit.

In Gleichung (4) wird der Faktor $e^{-\frac{Wt}{2L}}$ der Dämpfungsfaktor genannt, weil er die Dämpfung bestimmt. Das Verhältnis der Amplituden zweier unmittelbar aufeinander folgender Schwingungen ergibt sich mit $e^{\frac{WT}{2L}} = e^{W\sqrt{\frac{C}{L}}}$.

c) Aufnahme von Schwingungen.

Im nachstehenden sollen die Verhältnisse betrachtet werden, welche in den von elektrischen Wellen getroffenen Auffangdrähten platzgreifen. Da für die Fernwirkungen der elektrischen Schwingungen die Induktionsgesetze als gültig angenommen werden können, so ergibt sich, daß die Wirkung der aufgenommenen Wellen im Auffangdrahte dann am stärksten sein muß, wenn dieser zum Sendedrahte parallel ist. Man kann dies durch einen einfachen Versuch dartun: Dreht man den Sekundärdraht aus seiner zum Primärdrahte parallelen Lage, so wird die Schwingung im Sekundärdrahte immer schwächer; schon bei einem Verdrehungswinkel von 30—40° ist die Wirkung sehr schwach, bei einem Winkel von 90° ist sie vollständig verschwunden.

Die nachstehend beschriebenen Versuche beschäftigen sich mit Schwingungen im Auffangdrahte bei verschiedenen Formen und Anordnungen desselben. Hierbei wurde eine Sendeeinrichtung verwendet, welche aus zwei massiven, polierten Messingstäben von 1 m Länge und 3 mm Durchmesser bestand. Die Messingstäbe waren an den Enden abgerundet und durch verschraubbare Hülsen

Digitized by Google

in einem mit Petroleum gefüllten Hartgummigefäße befestigt. Die so gebildete Funkenstrecke wurde durch einen Funkeninduktor von 15 cm Schlagweite gespeist. Die äußeren Enden der Stäbe waren durch Glasstützen getragen. In gleicher Weise waren die Auffangestäbe unterstützt, welche ebenfalls Messingstäbe von 3 mm Dicke waren.

6. In 1 m Entfernung vom Sendedraht wurde genau parallel zu diesem ein Messingstab von 2 m Länge zur Aufstellung gebracht. Die längs des Empfängers mit dem Funkenmikrometer bestimmten Funkenlängen sind in Abb. 33 als Funktion des Abstandes von der Mitte des Drahtes dargestellt, während die eingetragene Kurve der Quadrant einer durch den Endpunkt gehenden Sinuslinie ist. Die Schwingung des Auffangdrahtes schmiegt sich demnach der har-

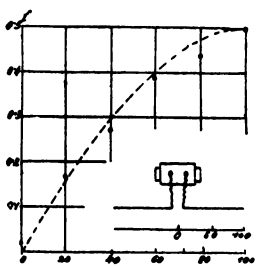


Abb. 33.

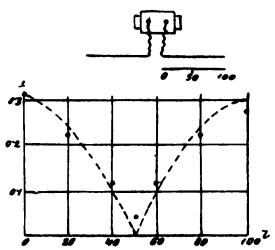


Abb. 34.

monischen sehr nahe an, insbesondere sieht man in der Mitte einen ausgesprochenen Knotenpunkt der Spannung.

7. Wird bei gleicher Versuchsanordnung der Auffangdraht auf die Hälfte seiner Länge verkürzt, so findet man die in Abb. 34 dargestellte Kurve. Der Auffangdraht zeigt auch hier eine Schwingung in halber Wellenlänge, welche jedoch nur halb so groß ist als jene der Erregerschwingung. Die Frequenz der Empfängerschwingung ist jedoch doppelt so groß als jene der Erregerschwingung; man hat also hier eine Schwingung in der oberen Oktave. Sehr bemerkenswert ist, daß die Spannungen an den Endpunkten des Empfängers beinahe nur halb so groß sind, als beim vorhergehenden Versuche.

8. Stellt man in der Verlängerung des Auffangdrahtes des Versuches 7 einen zweiten, gleichlangen Auffangdraht gegenüber dem freien Sendedrahte auf, ohne ihn mit dem ersten Auffangdrahte in

Digitized by Google

metallische Verbindung zu bringen (Abb. 35), so zeigt jeder der beiden Auffangdrähte dieselbe Schwingung wie jener im Versuch 7.

9. Ordnet man den Auffangdraht als rechten Winkel mit je 1 m langen Schenkeln an (Abb. 36), so schwingt er in der Schwingung des Senders (im Grundtone). Im Scheitelpunkte des Winkels bildet sich ein Knoten aus, während in jedem Schenkel eine Viertelwelle

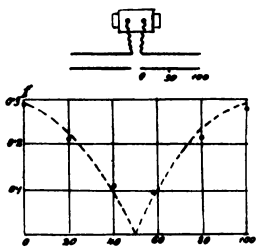


Abb. 35.

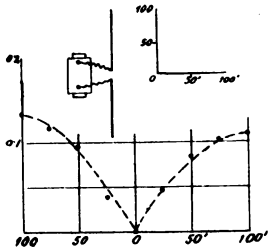


Abb. 36.

auftritt. Es ist jedoch der Spannungsbauch im Punkte 100′ immer kleiner als im Punkte 100.

10. Bildet man einen Auffangdraht in der Weise, daß er wieder einen rechten Winkel bildet, dessen Schenkel jedoch ungleich sind, so zwar, daß der dem Primärdrahte parallele Schenkel 1 m lang ist, wogegen der hierzu senkrechte Schenkel doppelt so lang ist (Abb. 37), so entstehen im Empfangsdrahte Schwingungen nicht ganz einfacher Natur. Wie aus der Abbildung hervorgeht, entstehen im Drahte Schwingungen, deren Wellenlänge gleich der gesamten Drahtlänge ist, wobei sich Spannungsbäuche in der Mitte und an beiden Enden ausbilden; außerdem aber zeigt sich, daß sich dieser Welle eine zweite, halbe Welle von doppelter Wellenlänge überlagert, welche die Spannungsbäuche an den Enden und den Knoten in der Mitte besitzt. Doch zeigt die aufgenommene Spannungskurve gegenüber der aus den punktierten, theoretisch angenommenen Sinuslinien zusammengesetzten Kurve eine gewisse Verzerrung; namentlich erscheinen die Knotenpunkte der Spannung nicht in so ausgeprägtem Maße, als nach der Slabyschen Theorie zu erwarten war.

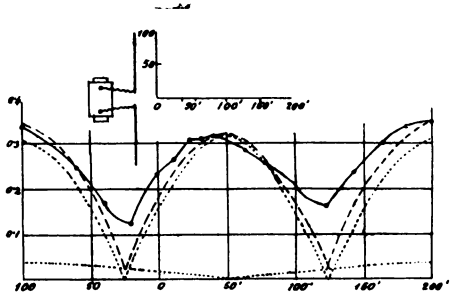


Abb. 37.

Digitized by Google

11. Ordnet man den 2 m langen Empfängerdraht in Schleifenform an (Abb. 38), so erhält man das bemerkenswerte Resultat, daß jede Drahthälfte in einer halben Wellenlänge mit einem Knotenpunkt in der Mitte schwingt. Jede Drahthälfte schwingt so, als wenn die andere nicht vorhanden wäre. Die Spannungen an den Punkten 0 und 200 sind einander gleich, denn ein zwischen diese Punkte geschaltetes Funkenmikrometer zeigt keinen Funken. Teilt man die Schleife in zwei gleichlange, nebeneinander liegende Empfangsdrähte (Abb. 39), so ergibt sich eine Kurve, die mit der vorigen übereinstimmt; auch wenn die Schleifenebene um 90° gedreht wurde, gelangte man zu demselben Ergebnisse.

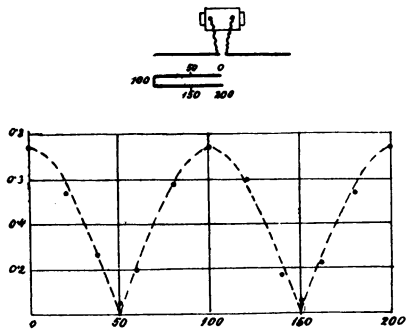


Abb. 38.

12. Setzt man an jeden Zweig der Schleife Verlängerungsdrähte von je 1 m unter rechten Winkeln an (Abb. 40), so zeigt sich, daß

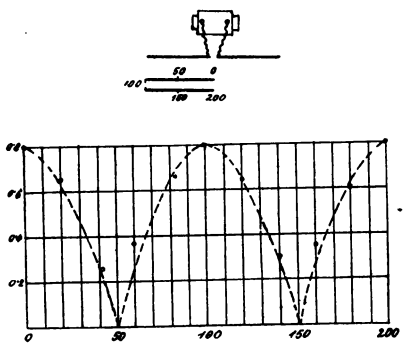


Abb. 39.

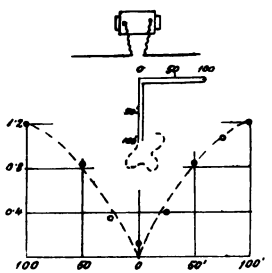


Abb. 40.

jeder der beiden rechten Winkel unabhängig von dem anderen in einer halben Wellenlänge schwingt, wobei sich die Knotenpunkte im Scheitel der Winkel ausbilden. Die Potentialwerte an den beiden freien Enden sind vollkommen gleich, denn ein dazwischengeschaltetes Mikrometer läßt keine Funken erkennen. Schaltet man dagegen bei 100′ an ein freies Ende einen Zusatzdraht von 2 m Länge an, so zeigt die Untersuchung mit dem Funkenmikrometer zwischen den nunmehrigen freien Enden des Empfängerdrahtes eine Spannungs-

Digitized by Google

differenz von 2,01, während vor der Anschaltung des Zusatzdrahtes die Endspannung bei 100′ nur 1,18 betrug. Verwendet man Zusatzdrähte von verschiedener Länge, so zeigen sich auch verschiedene Spannungsdifferenzen. Den größten Wert erhält man jedoch stets bei einem 2 m langen Zusatzdraht. Daraus geht hervor, daß diese Zusatzdrahtlänge einer maximalen Phasenverschiebung, also von 180°, entspricht und daß die Wellenlänge der im Empfangssystem auftretenden Welle wirklich 4 m beträgt.

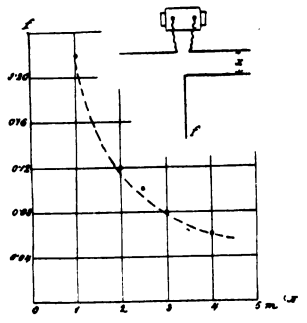


Abb. 41.

13. Um das Gesetz zu ermitteln, welches die Abhängigkeit der Wirkung auf den Empfangsdraht von der Entfernung desselben vom Sendedraht darstellt, wurde die in Abb. 41 angedeutete Versuchsanordnung gewählt. Die bei f auftretenden Endspannungen wurden bei verschiedenen Abständen x bestimmt und als Funktionen von x in die Zeichnung eingetragen; diese Werte zeigen eine große Annäherung an die durch den Anfangswert der Messungen gezogene, gleichseitige Hyperbel. Es ergibt sich sonach innerhalb der Grenzen des Versuches eine Wirkungsabnahme mit der ersten Potenz der Entfernung.

Das Kraftfeld bei der Wellentelegraphie.

Die bei der Wellentelegraphie benützten Wellen entstehen in derselben Weise, wie bei den Hertzschen Versuchen. Wenn zwischen die Empfangs- und die Sendeantenne kein Hindernis gelagert ist, reicht das Poyntingsche Prinzip, das bereits erwähnt wurde, zur Erklärung der Fortpflanzung der Wellen von der Sendestation nach der Empfangsstation vollkommen aus. Als jedoch Marconi zuerst im Jahre 1899 Signale zwischen Stationen wechselte, deren Antennen von dem dazwischen befindlichen Wasserhügel vollständig überragt waren, da war es am Platze, für diese merkwürdige Erscheinung eine Erklärung zu suchen.

Taylor gibt die nachstehende Erklärung hierfür, welche auf der Fortpflanzung der Wellen längs Drähten basiert. Da die Funkenstrecke verhältnismäßig nahe der Erde gelegen ist, so kann man sich die Verteilung der Kraftlinien ungefähr so vorstellen, wie in Abb. 42 dargestellt ist. Während der ersten Phase der Entladung,

Digitized by Google

wobei zunächst die Ladung aus der Antenne über den Funken zur Erde geht, breiten sich diese Kraftlinien aus. Die oberen Enden dieser Linien gleiten längs der Antenne herunter, während die höheren, gekrümmten Teile sich nach oben und außen ausdehnen. Ein Teil der Welle wird vollständig von der Antenne abgetrennt, es sind aber beide Enden jeder Kraftlinie geerdet. Daher gleiten diese abgetrennten Wellenringe über die Erdoberfläche auswärts, wie über eine gut leitende Platte. Dabei wachsen sie auch in die Höhe. Der nicht abgeschnürte Teil der Welle sinkt wieder in das

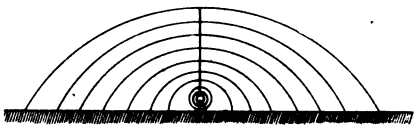


Abb. 42.

Schwingungssystem zurück. Während der nächsten Halbperiode geht die Schwingung längs der Antenne aufwärts, erleidet dort eine Reflexion und gibt zur Entstehung einer Schlinge am freien Ende Veranlassung, wobei eine entsprechende elektromagnetische Schlinge der stationären elektromagnetischen Welle in einem Viertel der Wellenlänge von der Basis entsteht. Die abgetrennte Welle nimmt die in Abb. 43 dargestellte Form an. Nach den Untersuchungen

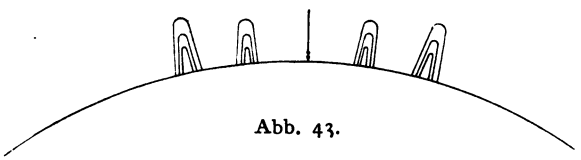


Abb. 43.

von Hertz müssen die Kraftlinien von Wellen, welche entlang vollkommener Leiter fortgleiten, auf der Leiteroberfläche genau senkrecht stehen. Da jedoch die Erde kein vollkommener Leiter ist, entsteht keine reine Transversalwelle, die Kraftlinien stehen also auf der Basis nicht ganz senkrecht. Die Tangentialkomponente der Kraft ist um so größer, je geringer die Leitfähigkeit ist; daher ist die Übermittelung der Wellen über Land schwieriger als über See.

Nach diesem Theorem von Taylor wandern also die planpolarisierten Wellen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit nach außen und erreichen ihren größten Schwall in einem Kreise, dessen Radius doppelt so lang ist als die Antenne; dabei folgen ihre Fußpunkte

Digitized by Google

der Krümmung der Erde, indem sie über Hügel aus leitendem Materiale wandern, wenn diese im Verhältnisse zur Wellenlänge nicht zu steil sind, oder wenn die Hügel abschüssig sind, von diesen ebenso wie von Bäumen, Stahlmasten usw. absorbiert werden. Sind die Hügel oder sonstigen Hindernisse vollkommene Nichtleiter, so gehen die Wellen ungehindert durch sie hindurch. Man kann also annehmen, daß die Wellenfußpunkte vorzugsweise längs des Grundwasserspiegels fortgleiten. Nach den Beobachtungen von Prof. Fessenden benötigt man zur Übermittelung von Signalen nach einem bestimmten Punkte über gefrorene Erde 7 mal mehr Kraft als bei Tauwetter. Die Übermittelung über trockenes, sandiges Land zeigt sich stets als ungünstig, wie auch über stark bewaldetes Terrain, namentlich im Frühjahr und im Sommer. Am besten ist sie über Marschstrecken, wo die Vegetation keine bedeutende Höhe erreicht. Die ausgesendeten Wellen streben also, jenem Wege zu folgen, der ihnen die größte Leitfähigkeit darbietet, und sich auf diesem Wege zu konzentrieren. Nach der Beobachtung des Prof. Slaby verbessert ein loser, auf dem Erdboden zwischen der Sende- und Empfangsstation ausgelegter Draht die Übermittelung wesentlich, während dieser Draht keine solche Wirkung hatte, wenn er unter Wasser war.

Nach der Ansicht des Prof. Righi werden die von der Antenne erzeugten Wellen vom Erdboden oder der Meeresoberfläche reflektiert, da ja die elektromagnetischen Wellen sowohl an Leitern, als auch an Nichtleitern Reflexionen erleiden. Die reflektierten Wellen verhalten sich so, als wenn sie von einem Spiegelbilde des Schwingungssystemes unter der Erdoberfläche ausgingen. Hiernach können die Wellen, welche aus der Verbindung der von einem geerdeten Schwingungssysteme direkt ausgesandten Wellen mit den reflektierten Wellen resultieren, als solche angesehen werden, welche von einem ungeerdeten Schwingungssysteme doppelter Länge ausgehen. Diese Anschauung ist insofern unzutreffend, weil sie die Übermittelung auf größere Entfernungen, bei denen die Erdkrümmung von Wesenheit ist, nicht zu erklären vermag.

Zur Feststellung, in welcher Weise sich das Kraftfeld um die Senderantenne ausbildet, sind nur wenige praktische Versuche mit Empfangsapparaten angestellt worden, welche in Gondeln von Luftballons angebracht waren und an welche herabhängende Empfangsantennen befestigt waren. Bei seinen Beobachtungen inmitten der Alpen erhielt Le Carme mittels einer 50 m langen Empfangsantenne,

Digitized by Google

welche 600 m oberhalb einer ähnlichen Sendeantenne aufgehängt war, Signale, was beweist, daß keine rein transversalen Wellen erzeugt wurden. Bei Wellen, welche sich genau in der von Hertz angegebenen Weise ausbreiten, ist nämlich die Achsiallinie, in welcher die beiden Antennen lagen, die Richtung der geringsten Energieausstrahlung. Durch die Beobachtung Le Carmes, daß in Entfernungen von 6 km von der Sendestation in Höhen von über 800 m über dem Fußpunkte der letzteren Signale erhältlich sind, wird die aufwärtsgehende Ausdehnung der Welle dargetan.

Hauptmann Ferrié benützte bei seinen diesbezüglichen Versuchen Sendeantennen von 50 oder 100 m Länge, welche an einen Ballon angehängt waren, und Empfangsantennen von 50—200 m Länge, welche an einem Fesselballon befestigt waren. Bei einem Abstande von 20 km zwischen beiden Stationen konnten im Empfangsapparate in der Gondel des Fesselballons bis zu Höhen von 800 m überall gleich gute Signale erhalten werden, wenn die Sendeantenne 100 m, die Empfangsantenne aber 200 m lang war. Wurde die Empfangsantenne auf die halbe Länge gebracht, so fand sich als obere Grenze, bis zu welcher eine Signalaufnahme stattfand, eine Höhe von 400 m. Es ist von Interesse, zu bemerken, daß die Signalaufnahme am besten war, wenn die Empfangsantenne, welche ein frei schwingendes, ungeerdetes System bildete, doppelt so lang war als die Sendeantenne, welche geerdet war, und demnach in einer Viertelwelle schwang.

Schwingungen in geschlossenen Bahnen.

Die Theorie der Elektrizitätsbewegung in einem in sich geschlossenen Leiter nach Thomson wurde bereits im Kapitel „Kontinuierliche und oszillatorische Entladungen" behandelt. Da in den die Praxis der Wellentelegraphie interessierenden Fällen der Widerstand im Verhältnisse zu dem Ausdrucke $2\sqrt{\frac{L}{C}}$ sehr klein ist, so darf im allgemeinen W^2 gegenüber $\frac{4L}{C}$ vernachlässigt werden. Demnach gehen die Formeln (5) auf Seite 12 über in die folgenden, wenn man berücksichtigt, daß nunmehr zu setzen ist: $\varphi = \frac{1}{\sqrt{CL}}$ und daß $\arctan \frac{\sqrt{4CL - W^2C^2}}{WC} = \frac{\pi}{2}$ wegen $W = 0$:

Digitized by Google

$$q = q_0 \, e^{-\frac{Wt}{2L}} \cos \varphi t \tag{1}$$

$$i = \varphi q_0 \, e^{-\frac{Wt}{2L}} \sin \varphi t \tag{2}$$

Diese beiden Gleichungen entsprechen den Bedingungen, daß q zur Zeit $t = 0$, d. i. beim Beginne der Entladung seinen Maximalwert, der Entladestrom i dagegen seinen Minimalwert, Null, hat.

Aus diesen Gleichungen (1—2) geht hervor, daß der Entladestrom ein gedämpfter Wechselstrom ist, dessen Schwingungsdauer $T = \frac{2\pi}{\varphi} = 2\pi\sqrt{CL}$ ist. Die Wellenlänge dieses Stromes $\lambda = v\,T$, wobei v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, die, wie bereits bekannt, mit jener des Lichtes übereinstimmt, ist sonach

$$\lambda = 2\pi\sqrt{(Cv^2)L} = 2\pi\sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}} \tag{3}$$

A. Slaby hat untersucht, ob diese Formel für Schwingungen in geschlossenen Kreisen, bei denen die Kapazität der Leitungsdrähte nicht ohne weiteres vernachlässigt werden darf, auch Gültigkeit besitzt oder nicht. Zu diesem Behufe wurde eine Reihe Leydener Flaschen, deren Kapazitäten nach der Gegenschaltungsmethode teils mit dem Telephon, teils mit dem ballistischen Galvanometer bestimmt worden waren, mit verschieden langen Drähten zu Schwingungskreisen geformt. Deren halbe Wellenlänge wurde, unter Verwendung der in Abb. 44 dargestellten Versuchsanordnung, durch Ermittelung der Resonanzlänge eines geradlinig gestreckten Drahtes S bestimmt. Dieser Versuch ergab wesentlich kürzere Wellenlängen als diejenigen, welche der Thomsonschen Formel entsprechen. Es war daher naheliegend, die von Kirchhoff abgeleitete Formel (Poggendorffs Annalen 121. 1864), welche das Problem der Kondensatorentladung unter Berücksichtigung der Kapazität der Leitungsdrähte behandelt, auf ihre Gültigkeit im vorliegenden Falle zu prüfen. Wird die Länge des Entladungskreises mit l, dessen Selbstinduktion mit L und die Kapazität der sich entladenden Kondensatoren mit C_c bezeichnet, so lautet die Kirchhoffsche Formel:

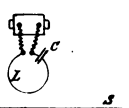


Abb. 44.

$$\frac{\pi l}{\lambda} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right) = \frac{l^2}{4 C_c L} \tag{4}$$

Digitized by Google

Macht man die Annahme, daß die Beziehung: $l = \sqrt{C_d \cdot L}$, welche für geradlinige Drähte abgeleitet wurde und in welcher C_d die Drahtkapazität bezeichnet, auch für krummlinige Drähte ihre Gültigkeit nicht verliere, so kann man die Kirchhoffsche Formel auch schreiben:

$$\frac{\pi l}{\lambda} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right) = \frac{C_d}{4 C_c} \qquad (5)$$

14. Um diese Formel, welche als Grenzfälle die Thomsonsche Formel $\lambda = 2\pi\sqrt{C_c L}$ für sehr kleine Drahtkapazitäten und jene der Schwingung im stabförmigen Leiter $\lambda = 2l$ enthält, auf ihre Anwendbarkeit für verschiedene Schwingungsbahnen zu prüfen, hat Slaby in der durch Abb. 45 angedeuteten Weise drei Hertzsche Erreger mit Messingkugeln von 30, bezw. 60 cm Durchmesser gebildet, deren Kapazität in einwandfreier Weise bestimmbar war. Die elektrostatischen Kapazitäten von Kugeln sind nämlich durch die Länge ihrer Radien gegeben. Die Gesamtkapazität beider Kugeln beträgt, da sie hintereinander geschaltet sind, die Hälfte eines Kugelradius.

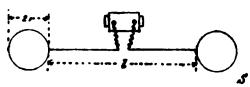


Abb. 45.

Die in den Hertzschen Erregern entstehenden Wellenlängen wurden mit Hilfe der Resonanzlängen eines zu den Erregern parallel gespannten Drahtes von 1 mm Durchmesser bestimmt. Nachstehend die Versuchsergebnisse:

Erreger Nr.	l in cm	Kugel-Durchmesser in cm	C_c in cm	Resonanzlänge in cm
1	600	30	7,5	960
2	600	60	15	1305
3	1000	30	7,5	1380

Eine Wiederholung dieser Versuche ergab nur geringe Differenzen, die stets kleiner als $^1/_2$ % waren. Verwendet man die gefundenenen Resonanzlängen zur Auswertung der Drahtkapazität nach Formel (5), so ergibt sich:

Nr. des Versuches	l	$\frac{\pi l}{\lambda}$	$\operatorname{tg}\frac{\pi l}{\lambda}$	$\frac{C_d}{C_c}$	C_d	C_d für 100 cm Drahtlänge
1	600	0,982	1,497	5,88	44	7,3
2	600	0,722	0,881	2,54	38	6,3
3	1000	1,138	2,166	9,86	74	7,4

Digitized by Google

Bildet man den Mittelwert der Drahtkapazität für 100 cm, so ergibt sich 7 cm.

In den Mitteilungen aus dem Telegraphen-Versuchsamte des Reichspostamtes III veröffentlichte Breisig eine Studie über Kapazitätsbestimmung. Nach derselben ergibt sich die Kapazität von zwei Parallelleitungen von dem Durchmesser $2r$, welche den Abstand h von der Erde und den Abstand a besitzen, für 10 cm Länge mit:

$$C = \frac{100}{2 \log \text{nat} \frac{a}{r} \cdot \frac{2h}{\sqrt{4h^2 + a^2}}}$$

Da bei den vorliegenden Versuchen der Abstand der beiden Drähte voneinander 100 cm uud ihr Abstand von der Erde 90 cm betrug, so ergibt sich unter Benützung dieser Formel derselbe Wert von 7 cm, welcher auch als Mittelwert aus diesen Versuchen gefunden wurde. Daraus ergibt sich, daß man für praktische Verhältnisse die Kirchhoffsche Formel auch für solche Schwingungskreise verwenden darf, die außer der in den Drähten gleichförmig verteilten Kapazität noch solche in Kondensatoren konzentriert enthalten.

15. Aus weiteren Versuchen Slabys geht hervor, daß bei kreisförmigen Erregern von verschiedener Drahtlänge mit zwei Flaschenkapazitäten die größten Differenzen zwischen $\text{tg} \frac{\pi l}{\lambda}$ und $\frac{\pi l}{\lambda}$ nicht größer waren als 2 %, daher zur Berechnung der Wellenlänge die Thomsonsche Formel $\lambda = 2\pi\sqrt{C_f L}$ angewendet werden darf.

Weiter ergab sich, daß die Kapazität von Leydener Flaschen von der Schwingungsfrequenz in Abhängigkeit steht, eine Tatsache, welche den Physikern schon sehr lange bekannt war.

Schwingungen in abgezweigten und gekuppelten Systemen.

Versuche im Jahre 1898 haben Slaby dazu geführt, eine sogenannte geschlossene Senderschaltung einzuführen, bei welcher an einen geschlossenen Schwingungskreis der Luftdraht angeschlossen war. Freilich nimmt F. Braun die Priorität hinsichtlich des geschlossenen Schwingungskreises für sich in Anspruch, da er als erster hierauf bezügliche, wissenschaftliche Theorien entwickelte.

Die Beobachtung A. Slabys und seines Assistenten Dr. Tietz war die, daß die Einschaltung eines Kondensators parallel zur

Digitized by Google

Funkenstrecke unter Umständen die Fernwirkung eines geradlinigen Sendedrahtes günstig beeinflusse, unter Umständen jedoch nachteilig. Der nachstehende, von A. Slaby angegebene Versuch soll diese Erscheinung erklären.

An eine Funkenstrecke wurden zwei Kondensatoren C_6 mit einer Kapazität von 796 cm und C_7 mit einer Kapazität von 807 cm angeschlossen und dieselben durch einen 3 m langen, isolierten Litzendraht miteinander verbunden. In Hintereinanderschaltung repräsentieren diese Kondensatoren eine Kapazität von $\frac{C_6 \cdot C_7}{C_6 + C_7} =$ 400 cm. Mittels eines blanken, 0,8 mm starken Kupferdrahtes wurde die Resonanzlänge $\frac{\lambda}{2} = 3510$ cm bestimmt. Dann wurde dieser Kreis zwischen den Punkten A und B (siehe Abb. 46) gerade gestreckt und an diesen Punkten gleich lange Abzweigedrähte $B\,C$ und $A\,D$ angeschlossen. Diese Anschlußdrähte wurden nach und nach um gleiche Stücke verkürzt und sodann jedesmal die Funkenlänge gemessen, welche in einem nächst dem Drahtende aufgestellten Mikrometer auftrat. Die ursprüngliche Drahtlänge betrug 39 m, sie wurde bis auf 31 m verkürzt. In Abb. 47 ist die Funkenlänge als Funktion der Drahtlänge dargestellt. Es ergibt sich, daß bei 35,1 m die größte Funkenlänge und daher die größte Energieaufnahme des Anschlußdrahtes vorhanden war. Aus der Absuchung des Drahtes mit dem Mikrometer folgt, daß der Draht in einer halben Welle mit einem relativen Knoten in der Mitte schwingt. Das angeschlossene, offene Drahtsystem hat also dieselbe Eigenfrequenz wie der geschlossene Kreis.

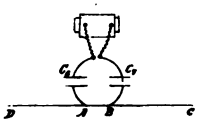


Abb. 46.

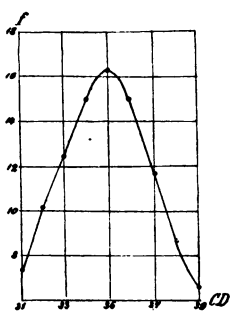


Abb. 47.

Daraus schließt Slaby, daß, wenn man die größtmögliche Schwingungsenergie von einem geschlossenen Schwingungskreise auf ein angeschlossenes, geradliniges Drahtsystem übertragen will, folgende Bedingungen erfüllt sein müssen: Die geradlinigen Anschlußdrähte müssen in symmetrischer Weise an den Schwingungskreis angehängt werden; unter Umständen kann auch ein Draht, der gleichsam als elektrisches Gegengewicht zum anderen angesehen werden kann, durch einen Erdanschluß ersetzt werden. Der an-

Digitized by Google

geschlossene Draht muß bezüglich seiner Eigenfrequenz mit jener des geschlossenen Schwingungskreises übereinstimmen.

Zur Theorie des Braunschen Senders.

Im folgenden wird die von Dr. Max Abraham entwickelte Theorie des an einen geschlossenen Schwingungskreis unmittelbar angeschlossenen Sendedrahtes wiedergegeben. Der in sich geschlossene Primärkreis enthalte die Kapazität C_0 und die Selbstinduktion L_0; erstere soll nur in Kondensatoren vereinigt, die letztere nur in den Verbindungsdrähten zwischen den Belegungen verteilt sein, so daß man im Kreise eine quasistationäre Strömung annehmen kann. C_0 und L_0 sollen in Zentimetern ausgedrückt sein, d. h. C_0 in absolutem, elektrostatischen und L_0 in absolutem, elektromagnetischen Maße. Die eine Kondensatorbelegung sei mit Erde verbunden, die andere mit einer geradlinigen, vertikalen Antenne in Verbindung, deren Länge l gleich einem Viertel der Wellenlänge des ungekuppelten Primärkreises und welche also auf diesen abgestimmt ist:

$$4l = \lambda_0 = 2\pi\sqrt{C_0 L_0}. \tag{1}$$

Schwingungsvorgang bei Vernachlässigung der Dämpfung. Ist die Dämpfung eines schwingenden Systemes nicht so groß, daß sie eine merkbare Beeinflussung der Eigenschwingungen hervorruft, so darf man bei der Bestimmung der letzteren in erster Annäherung von der Dämpfung absehen. Zur Bestimmung der Schwingungsdauer τ des gekuppelten Systemes und der Verteilung von Spannung und Stromintensität längs des Luftdrahtes in der ersten Annäherung wird angenommen, daß die Spannung der mit der Antenne verbundenen Belegung nach folgender Gleichung verläuft:

$$V_0 = b_0 \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right). \tag{2}$$

Ist c die Lichtgeschwindigkeit im Äther und ist V_0 in elektrostatischem und die Stromstärke im Primärkreise J_0 in elektromagnetischem Maße gemessen, so gilt die Beziehung

$$V_0 - \frac{L_0}{c} \cdot \frac{dJ_0}{dt} = 0. \tag{3}$$

Hieraus ergibt sich der Primärstrom mit

$$J_0 = b_0 \frac{\lambda}{2\pi L_0} \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \tag{4}$$

Digitized by Google

worin $\lambda = c\tau$ die gesuchte Wellenlänge bedeutet. Aus der wechselnden Ladung der Kondensatorbelegungen ergibt sich der folgende Strom im elektromagnetischen Maße:

$$-\frac{C_0}{c}\frac{dV_0}{dt} = b_0 \cdot \frac{2\pi C_0}{\lambda} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right).$$

Dieser Strom verteilt sich einerseits auf den geschlossenen Primärkreis und andererseits auf die Antenne. Der erste Stromteil ist durch Gleichung (4) dargestellt, daher der zweite durch die folgende Differenz:

$$b_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) \cdot \left[\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0}\right]. \tag{5}$$

Bezeichnet man den Strom in der Antenne mit J und die Spannung mit V, so lassen sich diese in einem beliebigen Punkte z, dessen Werte zwischen o und l variieren können, darstellen durch die Formeln:

$$J = a \sin x\left(1 - \frac{z}{l}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \tag{6}$$

$$V = -\frac{al}{C} \cos x\left(1 - \frac{z}{l}\right) \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right), \tag{7}$$

worin die Abkürzung gebraucht ist:

$$x = \frac{2\pi l}{\lambda}. \tag{8}$$

Unter C wird die Kapazität des Sendedrahtes, daher unter $\frac{C}{l}$ die Kapazität der Längeneinheit dieses Drahtes verstanden. Demnach erfüllen die Gleichungen (6) und (7) die bei Drahtwellen bestehende Beziehungsgleichung:

$$-c\frac{dJ}{dz} = \frac{C}{l}\frac{dV}{dt}.$$

Für das obere Antennenende ($z = l$) ergibt sich ein Stromknoten, die Spannung aber wechselt nach der Gleichung

$$V_l = -\frac{al}{C} \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right). \tag{9}$$

Wenn es möglich wäre, die Wellenlänge λ der Schwingung im gekuppelten Systeme jener der Schwingungen im ungekuppelten

Digitized by Google

Systeme λ_0 gleich zu machen, so müßte nach Gleichung (1) und (8) $x = \frac{\pi}{2}$ und somit am Anschlußende des Luftdrahtes ein Spannungsknoten ($V = 0$) sein. Dieses letztere ist aber unmöglich, weil zufolge der Kuppelung die Spannung am unteren Antennenende nach Gleichung (2) variieren muß. Daraus folgt, daß die Schwingungszahlen des gekuppelten Systemes andere sein müssen als die des ungekuppelten Primärkreises.

Berücksichtigt man die angenommene Kuppelung, so ergibt sich, daß die Spannung am Anschlußpunkte nach Gleichung (7) für $z = 0$ gleich der durch Gleichung (2) dargestellten Spannung der Kondensatorbelegung sein muß. Daher

$$-\frac{a\,l}{C}\cos x = b_0. \tag{10}$$

Ferner muß die Stromstärke an diesem Punkte sowohl durch Gleichung (5) als auch durch Gleichung (6), im letzteren Falle für $z = 0$, dargestellt werden. Die Gleichsetzung ergibt:

$$a \sin x = b_0 \left(\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0}\right). \tag{11}$$

Durch Division von (11) durch (10) ergibt sich

$$\operatorname{tg} x = -\frac{l}{C}\left(\frac{2\pi C_0}{\lambda} - \frac{\lambda}{2\pi L_0}\right) = \frac{C_0}{C}\left(\frac{l\,\lambda}{2\pi L_0 C_0} - \frac{2\pi l}{\lambda}\right).$$

Setzt man in Analogie zur Gleichung (1) zur Abkürzung

$$x_0 = \frac{2\pi l}{\lambda_0} = \frac{l}{\sqrt{C_0 L_0}} = \frac{\pi}{2} \tag{12}$$

und bezeichnet man das Verhältnis zwischen Antennenkapazität und Kondensatorkapazität, d. i. das sogenannte Kapazitätsverhältnis, mit α:

$$\alpha = \frac{C}{C_0}, \tag{13}$$

so ergibt sich unter Berücksichtigung der Gleichung (8)

$$\operatorname{tg} x = \frac{x_0^2 - x^2}{\alpha x}. \tag{14}$$

Die Wurzeln dieser transzendentenen Gleichungen, welche die Schwingungszahlen des gekuppelten Schwingungssystemes bestimmen,

Digitized by Google

können auf graphischem Wege ermittelt werden. In dem für die Praxis der Wellentelegraphie wichtigen Falle weichen die Wellenlängen λ' und λ'' des gekuppelten Systemes von der Schwingungslänge $\lambda_0 = 4\,l$ des ungekuppelten Primärkreises nicht sehr weit ab, so daß man mit Hilfe des nachstehenden Näherungsverfahrens zu einem Überblicke über den bestehenden Schwingungsvorgang gelangt. Schreibt man die Gleichung (14) $(x_0^2 - x^2)\,\mathrm{cotg}\,x = \alpha x$, berücksichtigt man, daß nach Gleichung (12) $x_0 = \frac{\pi}{2}$ ist und setzt man

$$x = \frac{2\pi l}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + \xi, \tag{15}$$

worin ξ gegen $\frac{\pi}{2}$ so klein angesehen wird, daß Quadrate und höhere Potenzen von ξ vernachlässigt werden können, also $\cos x = -\xi$, $\sin x = 0$ und $\mathrm{cotg}\,x = -\xi$ gesetzt werden darf, so erhält man

$$\left[\left(\frac{\pi}{2} + \xi\right)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2\right]\xi = \alpha\left(\frac{\pi}{2} + \xi\right).$$

Da sich α von der Ordnung ξ^2 ergibt, muß rechts $\alpha\xi$ weggelassen werden, ebenso wie links ξ^3. Daher ergibt sich

$$\xi = \pm\sqrt{\frac{\alpha}{2}}. \tag{16}$$

Für ein hinreichend kleines Kapazitätsverhältnis α kann man die Wurzeln der Gleichung (14) darstellen:

$$x' = \frac{\pi}{2} + \sqrt{\frac{\alpha}{2}}, \quad x'' = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{\alpha}{2}}. \tag{16a}$$

Die restlichen Wurzeln, welche den Oberschwingungen der gekuppelten Antenne entsprechen, kommen für die Wellentelegraphie nicht in Betracht.

Führt man an Stelle von x die Schwingungszahl n in 2π Sekunden ein:

$$n = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{c\,x}{l}, \tag{17}$$

so sind die Schwingungszahlen der zwei langsamsten Eigenschwingungen des Sendedrahtes:

Digitized by Google

$$n' = \frac{c}{l} x' \quad \text{und} \quad n'' = \frac{c}{l} x''. \tag{18}$$

Das arithmetische Mittel dieser Schwingungszahlen

$$n = \frac{n' + n''}{2} = \frac{c}{l}\left(\frac{x' + x''}{2}\right) = \frac{c}{l} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{c x_0}{l} = \frac{2\pi c}{\lambda_0} \tag{19}$$

ist gleich der Schwingungszahl des ungekuppelten Primärkreises. Die halbe Differenz der Schwingungszahlen

$$v = \frac{n' - n''}{2} = \frac{c}{l}\sqrt{\frac{\alpha}{2}} = \frac{c}{l}\sqrt{\frac{C}{2C_0}} \tag{20}$$

ist um so kleiner, je kleiner die Antennenkapazität C im Verhältnisse zur Kondensatorkapazität des Primärkreises C_0 ist.

Mit Hilfe der gefundenen Werte von x kann man die den Eigenschwingungen des Senders entsprechende Verteilung der Spannung und Intensität in der Antenne bestimmen. Da $\cos x = -\xi$, so ist somit nach Gleichung (10) und (16)

$$\alpha = \pm b_0 \frac{C}{l}\sqrt{\frac{2}{\alpha}}.$$

Setzt man zur Abkürzung

$$\eta = \frac{C}{l}\sqrt{\frac{2}{\alpha}} = \frac{1}{l}\sqrt{2\,C\,C_0} = \frac{2}{\pi}\sqrt{\frac{2\,C}{L_0}}, \tag{21}$$

dann stellen die Ausdrücke

$$a' = +b_0'\eta \quad \text{und} \quad a'' = -b_0''\eta$$

nach Gleichung (6) die diesen Eigenschwingungen zukommenden Stromamplituden am Antennenanschlusse dar, wenn man berücksichtigt, daß in diesem Falle $\sin x = 1$ zu setzen ist.

Diese zwei Schwingungen überlagern sich einander, demnach ergibt sich der resultierende Strom mit:

$$J_{(\text{für } l=0)} = \eta\,[b_0' \sin(n' t) - b_0'' \sin(n'' t)] \tag{22}$$

Aus den Gleichungen (9) und (21) folgt für die Spannung am freien Antennenende:

$$V_l = \sqrt{\frac{2}{\alpha}}\,[-b_0' \cos(n' t) + b_0'' \cos(n'' t)] \tag{23}$$

Digitized by Google

Die Spannung am Anschlußpunkte der Antenne ist dagegen nach Gleichung (2) gegeben durch die Formel, welche auch die Potentialdifferenz der Kondensatorbelegungen darstellt:

$$V_0 = b_0' \cos (n' t) + b_0'' \cos (n'' t). \qquad (24)$$

In Gleichung (23) für die Spannung am Antennenende tritt der Faktor $\sqrt{\frac{2}{\alpha}}$ auf, dessen reziproker Wert nach Gleichung (20) für die Schwingungsdifferenz maßgebend ist. Daraus folgt, daß die Spannung am freien Antennenende um so größer ist, je geringer die Schwingungsdifferenz ist.

Bei der Wellentelegraphie handelt es sich jedoch nicht darum, möglichst hohe Spannungen am freien Antennenende zu erreichen, sondern vielmehr möglichst große Stromamplituden (Gleichung 22) am Antennenanschlusse, d. i. im Strombauche. Es sind nämlich die Amplituden der vom Oszillator ausgehenden Wellen dieser Stromamplitude proportional. Man muß daher zur Vergrößerung der elektrischen Feldstärke der Wellen die durch Gleichung (21) definierte Größe η möglichst groß machen, d. h. man muß, bei konstant gehaltener Wellenlänge im ungekuppelten Primärkreise, die Antennenkapazität vermehren und die Selbstinduktion des Primärkreises verkleinern.

Vermittels eines ungedämpften Resonators kann man die vom Geber ausgestrahlten Partialwellen (n' und n'') voneinander trennen, wenn die Schwingungsdifferenz v nicht zu klein ist. Je kleiner dagegen v ist, um so eher wird die Dämpfung der Senderschwingungen sowohl, als auch des Resonators die beiden Partialwellen abflachen und bei genügend kleinem v sogar zum Verschwinden bringen, so daß beide vom Empfänger wie eine einzige aufgenommen werden. Für den letzteren Fall ist eine Umgestaltung der Formeln (22) bis (24) zweckmäßig, so daß sie die Verschmelzung beider Partialschwingungen zu einer einzigen von der Schwingungszahl n_0 und schwebender Amplitude zum Ausdrucke bringen. Bei Beginn des Schwingungsvorganges ($t = 0$) ist der Geber stromlos und die Potentialdifferenz der Kondensatorbelegungen ist, wie die Spannung am Antennenende, gleich dem Funkenpotential B_0. Daraus ergibt sich:

$$b_0'' + b_0' = B_0 \text{ und } b_0'' - b_0' = B_0 \sqrt{\frac{\alpha}{2}}.$$

Digitized by Google

Statt der hieraus resultierenden Werte $b_0'' = \frac{B_0}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{\alpha}{2}}\right)$ und $b_0' = \frac{B_0}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{\alpha}{2}}\right)$, welche dem angenommenen Anfangszustande entsprechen, setzt man $b_0'' = b_0' = \frac{B_0}{2}$, indem man sich mit einer näherungsweisen, nur für geringe Schwingungsdifferenzen zutreffenden Rechnung begnügt. Dann wird

$$J_{(\text{für } z=0)} = B_0 \eta \sin(\nu t) \cos(n_0 t) \tag{25}$$

$$V_l = B_0 \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \cdot \sin(\nu t) \sin(n_0 t) \tag{26}$$

$$V_0 = B_0 \cos(\nu t) \cos(n_0 t) \tag{27}$$

Die Schwingungszahl (n_0 in 2π Sekunden) ist dieselbe wie die des ungekuppelten Primärkreises; die Schwebungszahl (2ν in 2π Sekunden) ergibt sich aus den Gleichungen (19) und (20)

$$\frac{2\nu}{n_0} = \frac{4}{\pi}\sqrt{\frac{\alpha}{2}}. \tag{28}$$

Am Anfange des Vorganges ist Energie nur im Primärkreise vorhanden; im Verlaufe der Schwebung geht sie auf die Antenne über. Nach einer halben Schwebung, nämlich zur Zeit

$$T = \frac{\pi}{2\nu} = \frac{\pi}{n_0} \cdot \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{2}{\alpha}} = \tau_0 \cdot \frac{\pi}{8}\sqrt{\frac{2}{\alpha}} \tag{29}$$

ist die ganze Energie aus dem Primärkreise in den Sendedraht übergegangen. Von da an würde sie zur Gänze wieder zurückschwingen, wenn nicht ein Teil ausgestrahlt worden wäre.

Strahlungsdämpfung. Nach Gleichung (25) ist die Stromamplitude im Strombauche

$$A = B_0 \eta \sin(\nu t). \tag{30}$$

Die mittlere Ausstrahlung in der Sekunde ist gegeben mit

$$S = \frac{c A^2}{4} \cdot 2{,}44. \tag{31}$$

Digitized by Google

Ist ϱ der Radius des Antennenquerschnittes, so wird das logarithmische Dekrement der Strahlungsdämpfung berechnet mit

$$\sigma = \frac{2{,}44}{\log \text{nat} \left(\frac{2\,l}{\varrho}\right)}. \tag{32}$$

Die für die einfache Marconi-Schaltung gültigen Formeln (31) und (32) können auch hier verwendet werden, da die Stromverteilung bei geringer Schwingungsdifferenz wenig von jener abweicht. Wird berücksichtigt, daß die auf die Längeneinheit der Antenne entfallende Selbstinduktion $\left(\frac{L}{l}\right) = 2 \log \text{nat} \left(\frac{2\,l}{\varrho}\right)$ gleich dem reziproken Werte der Kapazität für die Längeneinheit ist, so ist:

$$\frac{C}{l} = \frac{l}{L} = \frac{1}{2 \log \text{nat} \left(\frac{2\,l}{\varrho}\right)}. \tag{33}$$

Demnach geht Formel (32) über in

$$\sigma = 2{,}44 \cdot \frac{2\,C}{l}. \tag{34}$$

Während die Stromamplitude bei der einfachen Marconi-Schaltung in der Zeit t zufolge der Dämpfung auf den Bruchteil $e^{-\frac{\sigma t}{\tau_0}}$ verringert wird, wird die maximale, zur Zeit $T = \frac{\pi}{2\,\nu}$ eintretende Schwingungsamplitude in der Antenne, welche bei Vernachlässigung der Dämpfung nach Gleichung (30) $B_0\,\eta$ wäre, durch die Ausstrahlung auf den Bruchteil $e^{-\frac{\sigma T}{2\tau_0}}$ verringert. Als Dämpfungsfaktor wurde hier $\frac{\sigma}{2}$ statt des beim Marconi-Sender zu setzenden (σ) eingestellt, weil beim gekuppelten Schwingungssysteme sich die Energie im Mittel nur während der Dauer einer Viertelschwebung im Sendedrahte befindet, sonach auch nur die halbe Energie ausstrahlen kann. Unter Berücksichtigung der Gleichung (29) findet man die maximale Stromamplitude mit $A_m = B_0\,\eta\,e^{-\frac{\sigma\pi}{16}\sqrt{\frac{2}{\alpha}}}$, oder wenn man σ aus Gleichung (34) einsetzt, Gleichung (21) berücksichtigt und zur Abkürzung setzt $\frac{\pi}{8} \cdot 2{,}44 = f$ mit

$$A_m = B_0\,\eta\,e^{-f\eta}. \tag{35}$$

Digitized by Google

Bei gegebenem Funkenpotentiale kann man die größte Wellenamplitude, welche der maximalen Stromamplitude proportional ist, durch einen direkt gekuppelten Sendedraht erreichen, wenn man η so wählt, daß $\eta e^{-f\eta}$ ein Maximum wird. Dieses tritt ein bei

$$\eta_m = \frac{1}{f} = \frac{8}{\pi \cdot 2{,}44}. \tag{36}$$

Der zugehörige Amplitudenwert ist

$$A_m = \frac{B_0}{ef}. \tag{37}$$

Diesem Maximum entspricht gemäß Gleichung (21) nachstehendes Verhältnis zwischen Selbstinduktion des Primärkreises und Kapazität des Luftdrahtes:

$$\frac{L_0}{C} = \frac{8f^2}{\pi^2} = \frac{(2{,}44)^2}{8},$$

oder wenn nunmehr C in Mikrofarad ausgedrückt wird

$$L_0 = 6{,}7 \cdot 10^5 C. \tag{38}$$

Die Indikatoren elektromagnetischer Wellen.

a) Die Kohärer.

Ein unentbehrlicher Apparat für die Telegraphie mittels elektromagnetischer Wellen ist zweifellos der Wellenindikator oder Wellendetektor. Wenn man von jenen Vorrichtungen absieht, welche, genau genommen, nichts anderes sind als Abänderungen des Hertzschen Resonators und nur den Zweck verfolgen, bei Demonstrationen, Vorlesungen und wissenschaftlichen Untersuchungen vermittels der Resonanz das Vorhandensein von Schwingungen leichter erkennbar zu machen, so sind es vornehmlich jene Apparate, welche von Lodge mit dem Namen Kohärer und von Branly mit dem Namen Radiokonduktor belegt wurden, welche wegen ihrer großen Empfindlichkeit für die Praxis der Wellentelegraphie in Betracht kommen. Diese Apparate beruhen auf der allgemeinen, von Calzecchi-Onesti und anderen beobachteten Eigenschaft, welche Metallspänen zukommt, nämlich ihren Ohmschen Widerstand unter der Einwirkung elektrischer Wellen zu vermindern.

Der von Branly angestellte, grundlegende Versuch ist der folgende: Eine Ebonitröhre, welche zwischen zwei, die Röhre ab-

Digitized by Google

schließenden Metallstempeln Metallfeilicht enthält, wird mit einem Galvanometer von mittlerer Empfindlichkeit und einer Batterie in Serie geschaltet. Zunächst zeigt das Galvanometer keinen Strom an. Sobald man aber eine Leydener Flasche durch die Feilichtröhre entladet, so wird diese leitend und das Galvanometer zeigt Stromdurchgang an. Ein schwacher Stoß oder eine Erschütterung versetzt die Röhre wieder in den ursprünglichen Zustand von großem Widerstande. Branly konstatierte auch, daß es genügte, daß eine elektrische Entladung in der Nachbarschaft der Röhre stattfinde, um diese Widerstandsverminderung des Metallfeilichts zu erhalten. Dieselbe Erscheinung zeigte sich, wenn das Feilicht mit isolierenden Substanzen, wie Schwefel oder Paraffin, vermengt war, ja sogar selbst dann, wenn sich das Feilicht zufolge der Vermengung vom Dielektrikum ganz umschlossen fand.

Die umfangreichen Untersuchungen Branlys betrafen außerdem Metallpulver oder Feilspäne, die auf Glas- oder Ebonitplatten ausgebreitet oder mit isolierenden Substanzen vermengt und zu festen Platten oder Zylindern zusammengeschmolzen waren, endlich auch einfache Kontakte zwischen oxydierten Kupferstäben oder mehrfache Kontakte, welche durch Aufschichtung von Metallkugeln oder Platten in Reihen oder Säulen gebildet worden waren. Das Resultat dieser Arbeiten war die Feststellung der bedeutenden Widerstandsabnahme von Metallfeilicht oder eines einzelnen metallischen Kontaktes beim Durchgange eines Stromes hoher elektromotorischer Kraft oder bei Entladungen in näher oder ferner angeordneten Funkenstrecken. Die Funkenentladungen hatten nur dann keinen Einfluß, wenn die Kontakte sich in einer vollkommen schließenden Metallhülle eingeschlossen befanden. Außer mechanischen Erschütterungen bewirkt auch eine schwache Erwärmung die Wiederkehr des ursprünglichen Widerstandes.

Ausnahmen von diesem Verhalten zeigen sich bei Antimon- und Aluminiumpulver, bei Bleisuperoxyd und manchen platinierten Gläsern, welche durch Einwirkung elektrischer Einflüsse bald eine Widerstandszunahme, bald eine wechselnde Widerstandsänderung erfahren.

Zur Erklärung dieser Erscheinungen nimmt Branly eine gewisse Polarisation des Dielektrikums an, welches die Metallkörper trennt.

Einige Zeit später wiederholte Lodge diese Versuche und studierte dabei die Einwirkung der elektromagnetischen Wellen, deren Entstehung und Eigenschaften Hertz bereits gelehrt hatte, zunächst

Digitized by Google

auf einfache Kontakte und sodann, nachdem er von den Arbeiten Branlys Kenntnis erhalten hatte, auf die Feilichtröhre. Dabei konnte er die Wirkung der Wellen auf mehr als 100 m von ihrem Entstehungsorte nachweisen, und zwar in allen Fällen durch die Verkleinerung des Ohmschen Widerstandes des Metallfeilichtes.

Die Resultate dieser zahlreichen Versuche haben Lodge zu der Ansicht gebracht, die beste Erklärung für diese Erscheinung sei in der Kohäsion oder Kohärierung der Metallkörner zu suchen. Die hierbei betrachtete, schon früher von Varley beobachtete Tatsache ist, daß zwei durch einen geringen Zwischenraum voneinander getrennte Leiter nach dem Überspringen elektrischer Funken oft wie zusammengelötet erscheinen. Die elektrischen Wellen erregen in den Leitern elektrische Schwingungen, deren Ausgleich sich in elektrischen Funken vollzieht, welche den kleinen Zwischenraum durch losgerissene und mitgeführte Metallteilchen überbrücken. Dabei wird die Oxydschichte und die Schichten der sonst vorhandenen, dielektrischen Körper, welche die metallischen Oberflächen der beiden Leiter voneinander trennen, von den Funken durchbrochen. Auch soll die Hitze des Funkens nach Lodge genügen, um zwei sich berührende Metallflächen direkt zusammenzuschmelzen. Als unterstützende Begleitumstände führt Lodge an: Erstens die durch den elektrischen Strom im Dielektrikum hervorgerufenen chemischen Prozesse und zweitens die elektrostatische Anziehung zwischen den benachbarten, entgegengesetzt geladenen Metallteilchen, welche auch bei mäßigen Potentialdifferenzen infolge des außerordentlich kleinen Abstandes der Metallflächen in einer Feilichtröhre ganz bedeutende Werte erreichen muß.

Gegen diese Auffassung machte Branly den Einwand, daß sie das Verhalten von Gemengen, welche man durch Eintragen von Feilicht in geschmolzene Dielektrika erhält und die nach ihrer Erstarrung hart wie Marmor sind, nicht erklären könne. Er behauptete nun, es sei nur möglich, daß entweder die isolierende Schicht zwischen den benachbarten Metallflächen durch den Einfluß eines hochgespannten Stromes leitend werde oder daß ein Strom durch ein System von unzusammenhängenden Leitern hindurchgehen könne, wobei der Zwischenraum, der auf solche Weise von dem Strom überbrückt werden kann, durch vorhergegangene, elektrische Einwirkungen vergrößert werde. Die erstere dieser beiden Annahmen hält er für wahrscheinlicher.

Digitized by Google

Die Anschauung von der Ursache der Widerstandsverminderungen unvollkommener Kontakte veranlaßte Lodge, der Feilichtröhre den Namen coherer oder deutsch Kohärer zu geben, der nun fast allgemein angewendet wird, während die von Branly vorgeschlagene Bezeichnung Radiokonduktor, sowie die von Slaby angewendeten Verdeutschungen Fritter oder Frittröhre nur in beschränktem Maße Verwendung gefunden haben.

Die Theorien Branlys sind in keinem Falle als richtig erwiesen, dagegen in einzelnen Teilen als unrichtig nachgewiesen worden. So hat Lhuillier gefunden, daß, als er in Alkohol getauchte Eisenfeilspäne der Wirkung elektromagnetischer Wellen aussetzte, die hierbei entstandene, auch nach Aufhören der Wellen andauernde Leitfähigkeit der Späne nicht verschwand, wenn er den Alkohol durch ein neues Quantum Alkohol ersetzte. Dorn hat nachgewiesen, daß die Leitfähigkeit einer Feilichtröhre nach Einwirkung der Wellen dieselbe ist, ob sie nun Luft enthält oder luftleer gepumpt ist, wenn auch die Leitfähigkeit dieser Röhre vor der Einwirkung der Wellen im luftleeren Zustande größer ist, als im lufterfüllten. Der weitere Einwurf Branlys gegen die Theorie von Lodge, daß das Phänomen der Kohärenz auch bei nicht oxydierbaren Metallen, wie Gold und Platin auftrete, wurde jedoch seither in einwandfreier Weise bestätigt.

Die ursprüngliche Theorie von Lodge wollte man in folgender Weise verbessern: Es tritt nicht eine direkte Zusammenschmelzung der Leiter ein, vielmehr schlägt sich das durch die Hitze des Funkens verdampfte Metall an den Wänden der durch die Durchbohrung des Dielektrikums entstandenen Kanäle nieder und bildet so leitende Brücken zwischen den Leitern; ferner muß berücksichtigt werden, daß die zwischen den Elektroden der Feilichtröhre befindlichen Teilchen in einem elektrischen Felde sind und sich demnach nach Möglichkeit in die Richtung der Kraftlinien einstellen und so die Bildung zusammenhängender Fäden in der Richtung dieser Linien begünstigen.

Es lassen sich zugunsten der Anschauung von Lodge noch weitere Beobachtungen ins Treffen führen. So stellten Vicentini, Appleyard, Campanile und Ciommo fest, daß Quecksilber, das in Tröpfchenform mit einem Öle zu einer Emulsion vermischt ist, unter der Einwirkung naher elektrischer Entladungen oder beim Durchgange eines elektrischen Stromes in Bewegung kommt und sich zu größeren Aggregaten ordnet. Daß Feilspäne zwischen zwei Elektroden unter dem Einflusse elektrischer Einwirkungen sich zu zu-

Digitized by Google

sammenhängenden, die Elektroden verbindenden Ketten anordnen, wurde von Tommasina beobachtet. Eisen- oder Nickelfeilspäne zwischen Elektroden bilden bei nahen elektrischen Entladungen, wie Sundorph festgestellt hat, leitende Brücken zwischen den Elektroden, welche durch Annäherung eines Magnetes nur teilweise zerstört werden. Die an den Kontaktstellen des Kohärers auftretenden Funken wurden von Arons, van Gulik und Tommasina direkt beobachtet und von Malagoli photographisch in jenem Falle festgehalten, wo sie sich ihrer Kleinheit wegen der direkten Beobachtung entzogen.

Eine Tatsache von mindestens theoretisch größerer Wichtigkeit ist von Tommasina gefunden worden, nämlich, daß derlei Apparate mit Kohlekörnern, wie sie in den Mikrophonen verwendet werden, die Erscheinung der spontanen Wiederkehr des ursprünglichen, hohen Widerstandes zeigen, sobald die elektrischen Wellen, welche den Widerstand des Apparates herabgesetzt haben, aufhören. Diese Entdeckung ist auch von Branly, Popoff und Ducretet als die ihre in Anspruch genommen worden. Der französische Geniehauptmann Ferrié hat dieselbe Erscheinung auch für Kontakte zwischen Metall und Kohle als bestehend vorgefunden; namentlich lieferte Zink die besten Resultate.

b) Antikohärer.

Es gibt Systeme, bei denen die Einwirkung einer elektrischen Welle den Widerstand ansteigen läßt. Diese Erscheinung wurde bei verschiedenartigen Zusammenstellungen beobachtet. Schneidet man einen auf Glas geklebten Stanniolstreifen entzwei, bestreut den Schnitt mit Metallfeilicht und setzt man diese Einrichtung der Einwirkung elektromagnetischer Wellen aus, so kann man nach Arons bei Beobachtung mit dem Mikroskope folgende Erscheinungen wahrnehmen: Es springen Funken über, welche eine Brückenbildung bewirken; häufig aber werden diese Brücken durch stärkere Funken wieder zerstört, so daß der Widerstand nicht verringert, sondern erhöht wird.

Ähnliche Widerstandszunahmen wurden auch beobachtet von Branly an platiniertem Glase und an Blattgold, von Neugschwender an einer auf Glas niedergeschlagenen Silberschicht, welche durch einen Spalt von ungefähr $^1/_3$ mm Breite in zwei Teile geteilt ist. Wird diese Vorrichtung mit einem Galvanometer und einer Batterie zu einem Stromkreise geschaltet und der Spalt behaucht, so daß er

Digitized by Google

sich beschlägt, so zeigt sich im Galvanometer zunächst eine Widerstandsabnahme bis auf etwa 40 Ohm, weil sich infolge der in der Flüssigkeit zwischen den Rändern der Belegungen auftretenden, elektrolytischen Vorgänge dünne Metallfäden bilden, welche den Spalt metallisch überbrücken. Wird nun dieser Apparat von elektromagnetischen Wellen getroffen, so werden die zarten Brücken zerstört und der Widerstand erhöht sich bis auf etwa 80000 Ohm, um nach dem Erlöschen der Wellen auf den ursprünglichen Widerstandswert herunterzugehen.

Auch Aschkinaß hat bei Apparaten, die aus zwei Kupferspitzen mit einem Wassertropfen dazwischen bestanden oder gewöhnliche Kohärer waren, bei denen die Zwischenräume zwischen den Metallkörnern mit Wasser ausgefüllt waren, gleichartige Erscheinungen wahrgenommen.

Derlei Vorrichtungen können natürlich auch als Wellenindikatoren verwendet werden und wurden mit dem Namen Antikohärer belegt, weil sie ein den Kohärern entgegengesetztes Verhalten zeigen.

Die Schäfersche Platte unterscheidet sich von der Neugschwenderschen dadurch, daß der Spalt zwischen den Silberbelegungen mit einem Gravierdiamanten hergestellt wird und demnach nur eine Breite von etwa $^1/_{100}$ mm besitzt. Ferner wird die Platte nicht behaucht, sondern mit Firnis überzogen und in eine nachher zu evakuierende Glasröhre eingebracht. Das Verhalten dieses Apparates, dessen Widerstand wegen der den Spalt überbrückenden Metallfäden niemals einen gewissen Betrag übersteigt, ist nach Marx folgendermaßen zu erklären: Einfallende elektrische Wellen erwärmen die stärkeren Metallfäden und bringen die feineren in Funken zum Verdampfen, so daß der Widerstand in starkem Maße zunimmt. Hören die Wellen und damit die Funken wieder auf, so schlägt sich das Metall wieder nieder und es wird durch die auftretende Brückenbildung der Anfangswiderstand wieder hergestellt.

Die Widerstandsvermehrung des Bleidioxydes beruht nach Sundorph darin, daß es durch einfallende elektromagnetische Wellen in das minder gut leitende Bleimonoxyd umgewandelt wird. Auch die von Aschkinaß beim Schwefelkupfer festgestellte Widerstandserhöhung dürfte aus einer chemischen Veränderung desselben resultieren.

Interessant sind die umfassenden Versuche von Bose. Er hat eine Reihe von Metallen bezüglich ihres Verhaltens bei der Einwirkung elektrischer Wellen untersucht und gefunden, daß bei vielen

Digitized by Google

der Widerstand ansteigt. Zwei Kaliumkugeln in einem Petroleumbade weisen, wenn sie entsprechend stark gegeneinander gedrückt werden, eine besonders starke Widerstandserhöhung auf, welche jedoch gleichzeitig mit den Wellen wieder verschwindet. Genau so verhalten sich Radiokonduktoren aus den anderen Alkalimetallen und aus Metallen alkalischer Erden, doch ist bei ihnen die Widerstandszunahme nicht so intensiv. Bei den Versuchen mit Zink, Eisen und ähnlichen Metallen ließen sich die Radiokonduktoren so regulieren, daß elektrische Wellen ihren Widerstand abwechselnd verminderten und vergrößerten. Frisch gepulvertes Arsenik erlitt in der Nähe des Wellenerregers eine Widerstandszunahme, die um so geringer war, je weiter der Radiokonduktor von dem Wellenerreger entfernt wurde. Bei weiterer Entfernung zeigte sich ein Verschwinden jeder Einwirkung; es ist dies der sogenannte kritische Abstand, da sich bei weiterer Entfernung des Radiokonduktors vom Erreger eine Widerstandsverminderung ergibt. Dieser Versuch ist von besonderer Wichtigkeit, weil er zeigt, in welcher Weise das Verhalten der Radiokonduktoren von der Intensität der elektrischen Wellen abhängig ist: Starke elektrische Einwirkungen erhöhen den Widerstand, schwache haben dagegen den entgegengesetzten Erfolg.

Eine Reihe weiterer Radiokonduktoren zeigt nach Bose teils Widerstandsabnahme, teils Widerstandszunahme. In die von Bose aufgestellte Theorie, wonach die durch elektrische Wellen im Metallfeilicht hervorgerufenen Widerstandsänderungen allotropischen Modifikationen der Substanzen entstammen, und zwar derart, daß für die eine eine Widerstandserhöhung und für die andere eine Verminderung desselben platzgriffe, soll nicht näher eingegangen werden, weil dieselbe in keiner Weise erwiesen scheint.

Die Beobachtungen Boses scheinen durch die Untersuchungen anderer Forscher großenteils bestätigt, nur fand Mizuno bei Kalium Widerstandsabnahme und bei einkontaktigen Blei-Radiokonduktoren keine Spur eines wechselnden Verhaltens. Guthe, der durch eigene Versuche die Ergebnisse Boses einer kritischen Überprüfung unterzog, kam zu der Ansicht, daß die Widerstandszunahme mit darauffolgender, regulärer Abnahme auf kleine Metallteilchen zurückzuführen sei, welche zwischen den beiden, einander nur unvollkommen berührenden Kugelflächen vorerst eine leitende Verbindung bilden und bei Einwirkungen starker elektrischer Wellen beiseite geschleudert werden. Aus seinen Versuchen mit einkontaktigen Kohärern geht

Digitized by Google

hervor, daß sich diese je nach dem Grade der Erregung wie Kohärer oder Antikohärer verhalten können.

c) Widerstandsänderungen durch galvanische Ströme.

Schon Branly hatte die Beobachtung gemacht, daß durch die Batterie, welche in den Stromkreis des Kohärers eingeschaltet war, dessen Widerstand herabgemindert wurde, und zwar im gleichen Verhältnisse mit der Anzahl der verwendeten Elemente.

Dieser Beobachtung scheinen die im folgenden erwähnten Versuche zu widersprechen. E. v. Gulik untersuchte Einzelkontakte zwischen leicht gegeneinander gepreßten, oberflächlich schwach oxydierten Metallkugeln und fand, daß, wenn er eine regulierbare, in den Stromkreis des Kontaktes eingeschaltete Batterie in ihrer elektromotorischen Kraft variierte, der ursprüngliche Widerstand von über 10000 Ohm in Übereinstimmung mit der Theorie von Lodge solange unverändert blieb, bis die elektromotorische Kraft eine gewisse Grenze erreichte. Dann fiel der Widerstand plötzlich bis auf etwa 4 Ohm.

Aus den Versuchen von Aschkinaß mit empfindlichen, einkontaktigen Kohärern ergibt sich, daß deren Widerstand durch den galvanischen Strom nur dann herabgesetzt wird, wenn die elektromotorische Kraft nicht unter einem gewissen „kritischen“ Werte lag. Dieser war in vielen Fällen 0,2 Volt, doch zeigten andere Kohärer bedeutende Abweichungen nach oben oder unten. Aschkinaß bestimmte die kritische Spannung in der Weise, daß er auf einen ununterbrochenen Erschütterungen ausgesetzten Kohärer eine Batterie von über der kritischen Spannung liegender, elektromotorischer Kraft einwirken ließ und diese allmählich so lange verringerte, bis ihre Wirkung durch die Erschütterungen aufgehoben wird. Dabei ist bemerkenswert, daß bei Anwendung der kritischen Spannung auf einen nicht erschütterten Kohärer die Widerstandsverringerung nicht plötzlich, wie beim Einfallen elektrischer Wellen, sondern allmählich eintrat, so daß das Widerstandsminimum oft erst nach einer Minute erreicht wurde.

Eine kritische elektromotorische Kraft fanden Trowbridge und Guthe bei Radiokonduktoren aus Stahlkugeln und Kugelkontakten. Wird die Intensität des durch einen Kugelkontakt gesendeten Stromes allmählich vergrößert, so zeigt sich anfangs eine regelmäßige Steigerung der zwischen den Kugelflächen bestehenden Potentialdifferenz; diese ändert sich jedoch von einem bestimmten Punkte

Digitized by Google

an nur mehr langsam und scheint sich einem gewissen Grenzwerte assymptotisch zu nähern, der nur von der Natur des Metalles, aus dem die Kugeln hergestellt sind, abhängt. Dasselbe Resultat erlangte Guthe auch bei Anwendung von Wechselstrom anstatt von Gleichstrom.

Daß diese Ergebnisse jedoch nicht uneingeschränkt gelten können, beweisen die Beobachtungen anderer Forscher; so zeigen die Beobachtungen von Blondel und Dobkévitsch, daß jeder Feilichtröhre ein von dem Oxydationsgrade und der Natur des verwendeten Metalles, sowie von dem auf die Feilspäne ausgeübten Drucke abhängiger Betrag der kritischen Spannung zukommt, bei dem der Widerstand des Kohärers dauernd herabgesetzt wird; doch konstatierten auch sie vorübergehende Widerstandsverringerungen unter dem Einflusse geringer elektromotorischer Kräfte.

Die im nachstehenden erwähnten Versuche von Eccles und von Bose sollen nur der Vollständigkeit wegen angeführt werden, da sie in ihren Versuchsanordnungen so sehr von den Verhältnissen der Praxis abweichen, daß aus ihnen eine Förderung in der Erkenntnis der wirklich vorkommenden Bedingungen kaum zu erwarten ist. Eccles untersuchte eine ganze Reihe von Kohärern, meist vom Typus derjenigen Marconis, nämlich aus Nickelfeilicht zwischen Silberelektroden mit einem Zwischenraum von $^3/_{10}$ mm, seltener solcher aus Eisenfeilicht oder aus einem durch eine Eisenspitze und einer Eisenplatte gebildeten Kontakte. Die den Widerstand verringernde elektromotorische Kraft wurde von einer Akkumulatorenbatterie geliefert, deren wirksame Spannung reguliert werden konnte. Ein elektrischer Klopfer führte in kurzen und bestimmten Zeitabschnitten schwache Schläge gegen den Radiokonduktor aus, damit der ursprüngliche Widerstand wieder hergestellt wurde. Die Schläge folgten so rasch aufeinander, daß das in den Stromkreis eingeschaltete Galvanometer den Impulsen, die es durch die Widerstandverminderung erlitt, nicht vollständig folgen konnte. Auf diese Weise zeigte das Galvanometer einen Mittelwert der Ablenkung für jede einzelne elektromotorische Kraft. Wenn die Versuchsergebnisse auch nicht unbedingt auf eine kritische Spannung hinweisen, so ergibt sich doch von einem gewissen Punkte ab eine bedeutend stärkere Widerstandsabnahme. Indem man die Kurven, welche das Verhältnis zwischen den elektromotorischen Kräften und den Galvanometerausschlägen darstellen, aufnimmt, kann man sich ein Urteil über die Empfindlichkeit der Kohärer bilden.

Digitized by Google

Bose untersucht die Leitungsfähigkeit der Kohärer oder einzelner Kontakte, bei ängstlicher Vermeidung einer Störung durch einen Stoß oder eine sonstige Ursache bei zyklischer Veränderung der elektromotorischen Kraft. Hierbei findet er zunächst charakteristische Kurven, welche die Abhängigkeit zwischen dem Drucke und dem Widerstande der Elektroden darstellen, und sodann solche, welche eine Art von elektrischer Widerstandshysteresis zur Anschauung bringen. Diese Untersuchungen sind für die Praxis insofern von geringerem Werte, als sie Angaben fixieren, die von dem unmittelbar vorhergehenden Funktionswerte des Widerstandes abhängig sind.

d) Wirkungsweise der Kohärer und Antikohärer.

Aus den mitgeteilten Tatsachen ergibt sich nicht mit Sicherheit, daß in allen Fällen eine kritische Spannung in aller Strenge bestehe, doch ist es sicher, daß die elektromotorische Kraft, welche einen Kohärer betätigen soll, zwischen gewissen Wertgrenzen liegen muß. Aschkinaß hat beispielsweise beobachtet, daß bei Verwendung einer elektromotorischen Kraft, deren Wert wenig geringer ist als die kritische Spannung, eine Widerstandsverringerung durch ein- oder mehrmalige Unterbrechung des Kohärerstromkreises erreicht werden kann. Es ist klar, daß in diesem Falle die elektromotorische Kraft durch den Unterbrechungsextrastrom auf den Wert der kritischen Spannung erhöht wird. Um nicht durch solche Einflüsse eine unbeabsichtigte Zeichengebung zu erhalten, ergibt sich die Notwendigkeit, den Betrag des Unterbrechungsstromes durch tunlichste Verkleinerung der Selbstinduktion des Kohärerstromkreises herabzusetzen. Da jedoch dieser Verkleinerung eine natürliche Grenze gezogen ist, so muß man sich dazu verstehen, die elektromotorische Kraft der Kohärerbatterie soweit herabzusetzen, daß die durch die einfallenden elektromagnetischen Wellen hinzutretende elektromotorische Kraft genügt, um die Potentialdifferenz an den Kohärerpolen auf den Wert der kritischen Spannung zu erhöheu.

Wie die Theorien von Branly und Lodge den Tatsachen sich nicht vollständig anpassen, so gilt dies auch von der Theorie von Auerbach. Dieser, sowie Fenyi haben beobachtet, daß auch durch Schallwellen der Widerstand von Kohärern, namentlich von solchen mit einem Kontakte oder mit wenigen Kontakten, wesentlich vermindert wird. Auerbach erklärt dies dadurch, daß durch die Schallwellen in den sich berührenden Körpern mechanische Schwingungen

Digitized by Google

erregt werden, welche die Körper an der Berührungsstelle so weit nähern, daß zwischen ihren Teilen die Molekularwirkungen der Adhäsion eintreten können. Wahrscheinlicher ist die nachstehende Erklärung: Die Schallwellen bestehen aus aufeinanderfolgenden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft. Da diese mit einer gewissen elektrischen Ladung versehen ist, so werden durch die Dichteänderungen der Luft auch Potentialdifferenzen erzeugt, welche sich beim Auftreffen auf den Leiter durch diesen auszugleichen suchen. Wenn man nun berücksichtigt, daß dieser Ausgleich durch die erwähnten Auerbachschen Pulsationen unterstützt wird, so ergibt sich die Erklärung der Erscheinung als identisch mit jener bei elektrisch beeinflußten Kohärern. Bei der offenbar sehr geringen Potentialdifferenz, welche sich räumlich auf verhältnismäßig große Räume verteilt, kann es nicht wundernehmen, daß die Kohärenzerscheinung am besten an größeren Metallstücken, als Kugeln, Schrauben, Nadeln usw., nicht aber an der gewöhnlichen Feilichtröhre zutage tritt.

Ferrié hat die Theorie aufgestellt, daß je zwei benachbarte Teilchen eines Kohärers, welche durch eine außerordentlich dünne Schicht eines Dielektrikums voneinander geschieden sind, als eine Art von Kondensator zu betrachten sind. Bei Einwirkung einer elektromotorischen Kraft bildet sich zwischen dessen beiden Belegungen eine Potentialdifferenz aus, welche zunächst zu Ausströmungen Veranlassung gibt, wie sie zwischen Leitern hoher Potentialdifferenz beobachtet werden können. Erreicht diese einen bestimmten Betrag, so tritt eine Funkenentladung unter Durchbrechung der dielektrischen Schichte und unter eventueller Brückenbildung ein.

Zur Erklärung derjenigen Kohärer, welche ohne äußere Einwirkung nach Aufhören der Wellen in ihren Ursprungszustand zurückkehren, nimmt Ferrié an, daß zwischen den leitenden Teilchen des Kohärers und dem umgebenden Dielektrikum eine mehr oder minder große Adhäsion besteht, welche durch die Ausströmungen überwunden werden muß, indem durch diese das Dielektrikum beiseite geschoben wird und auf diese Weise luftleere Kanäle zwischen den Metallpartikeln entstehen, durch welche zunächst die Ausströmung und in weiterer Folge die Entladung stattfindet. Nach Aufhören der Wellen verringert sich zufolge Molekularwirkung der Adhäsion der Querschnitt der Kanäle auf den ursprünglichen Betrag.

In ähnlicher Weise sucht Ferrié die Wirkungsweise der Antikohärer zu erklären, doch ist diese Erklärungsweise durchaus nicht

Digitized by Google

annehmbar, weil er von Eigenschaften der klebrigen und leichtflüssigen Dielektrika ausgeht, die keineswegs nachgewiesen erscheinen.

Nach der Anschauung von Guthe und Trowbridge sind die Metallteilchen des Kohärers von einer verdichteten und schlecht leitenden Gashülle umgeben. Tritt eine Potentialdifferenz ein, so treten Anziehungskräfte auf, welche die Metallteilchen einander soweit nähern, daß ihr Abstand nur mehr so groß ist wie der Durchmesser eines Moleküls. Der eine Metallteil sendet nun positive Ionen aus; dadurch wird eine dauernde, leitende Verbindung mit dem zweiten Nachbarpartikel hergestellt und so der Widerstand verringert. Diese Widerstandsverminderung bleibt auch nach der Stromunterbrechung bestehen und erleidet keine Änderung, wenn der Stromkreis neuerlich durch eine schwächere, elektromotorische Kraft geschlossen wird. Wird dagegen die Potentialdifferenz weiter erhöht, so findet eine weitere Aussendung von Ionen und dadurch eine Vergrößerung der Berührungsflächen zwischen benachbarten Metallkörnern statt.

Die Theorie von Eccles besagt, daß in einem Kohärer gleichzeitig zwei gesonderte Vorgänge eintreten; der eine besteht in einer rein mechanischen Orientierung der Metallteilchen, welche derart vor sich geht, daß die Teilchen sich unter der Einwirkung der Potentialdifferenz mit ihrer längsten Achse in die Richtung der Kraftlinien einstellen; der zweite ist die von Lodge angegebene Zusammenschweißung der Nachbarteilchen. Diese Theorie ist unvollständig, weil sie sich auf jene Kohärer nicht erstreckt, bei denen der ursprüngliche Widerstand spontan wiederkehrt, sobald die Potentialdifferenz verschwindet.

In neuerer Zeit hat Hurmuzescu zu dem Zwecke Versuche unternommen, um zu erkennen, ob die Widerstandsänderungen von der Dauer der Wirksamkeit der elektromagnetischen Wellen abhängen; er hat zu diesem Behufe einerseits die Zeit der Wirksamkeit der Wellen und andererseits gleichzeitig die dadurch hervorgebrachte Widerstandsänderung gemessen. Die neuen Ergebnisse seiner umfangreichen Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen: Alle Kohärer zeigen einen Minimalwert ihres Ohmschen Widerstandes nach einer gewissen Wirkungsdauer der elektrischen Wellen. Alle Kohärer, welche die Eigenschaft besitzen, von selbst zu ihrem ursprünglichen Widerstande zurückzukehren, verlieren diese Eigenschaft durch eine leichte Oxydation oder durch eine allzu rasche Ermüdung des Kohärers, welche bei Anwendung allzu intensiver

Digitized by Google

elektrischer Wellen eintritt. Bei gewissen Systemen, als: Eisen—Mangan und Silber—Mangan vermindert die Einwirkung der Wellen zunächst ihren Widerstand; wenn man dann von neuem Wellen wirken läßt, so findet man eine Erhöhung des Kohärerwiderstandes. Bei den Kohärern, welche durch Anfeuchtung der Kontaktflächen oder des Dielektrikums in Antikohärer umgewandelt werden, kann die erste Phase der Widerstandsverringerung, welche der zweiten Phase der Widerstandserhöhung vorausgeht, unter Umständen sehr kurz sein, so daß sie sich der Beobachtung entzieht.

Als die wahrscheinlichste Wirkungsweise hält der Autor die folgende: Niedrige Spannungen bewirken an den Kanten und scharfen Ecken Ausströmungen, stärkere Spannungen bewirken Funkenbildung unter gleichzeitiger Transportierung von Materie und noch stärkere Spannungen zerstören vorhandene Brücken durch Verbrennung, Zerstäubung oder Verdampfung. Die Grade der einzelnen Spannungen, welchen die angeführten Wirkungen entsprechen, werden für die einzelnen Metalle und Dielektrika, aus denen die Kohärer zusammengesetzt sind, nach der Größe, Oberflächenbeschaffenheit und dem Abstande der Körner variieren. Bei der Beurteilung der Kohärerwirkungen ist ferner zu berücksichtigen, daß die wirkenden Wellen gedämpft sind. Daraus ergeben sich nachstehende Folgerungen: 1. Fall. Die Wellen sind so stark, daß sie bestehende Brücken zerstören, und sind stark gedämpft; es tritt einfach Widerstandserhöhung ein. 2. Fall. Die Wellen sind ebenso stark wie im früheren Falle, doch haben sie eine geringere Dämpfung; hier werden zuerst bestehende Brücken zerstört, dann aber, wenn die Amplitude der Wellen durch die Dämpfung bereits so sehr geschwächt ist, daß keine Brückenzerstörung mehr eintritt, findet neuerlich Brückenbildung statt, da wegen der langsamen Dämpfung hierzu genügend Zeit vorhanden ist. 3. Fall. Die Wellen sind nicht so stark, daß sie zerstörend wirken; hier zeigt sich bei ausreichender Intensität Brückenbildung, bei geringerer Intensität ein Beginn von Brückenbildung, der jedoch mit Sicherheit nicht zu konstatieren ist.

Es ist selbstverständlich, daß zwischen den einzelnen Spannungsgraden Übergänge stattfinden müssen. Wie in einem bereits erwähnten Falle festgestellt wurde, tritt an den Übergangsstellen eine merkliche Widerstandsänderung des Kohärers nicht ein. Es ist nun nicht durchaus notwendig, anzunehmen, daß in einem solchen Falle gleichzeitig ebensoviel Brücken zerstört als gebaut werden, da hierüber verläßliche Beobachtungen nicht vorliegen.

Digitized by Google

Dem von Branly erhobenen Einwande gegenüber, daß durch die Lodgesche Theorie das Verhalten der aus geschmolzenem Schwefel, in welchen Metallfeilicht eingetragen wurde, hergestellten Kohärer nicht erklären könne, braucht nur daran erinnert zu werden, daß es durch Versuche festgestellt ist, daß derartige Kohärer gegen elektrische Wellen, wie sie gewöhnlich verwendet werden, ganz unempfindlich sind und nur dann ansprechen, wenn man eine Leydener Flasche durch sie hindurch entlädt, wobei Kräfte ins Spiel kommen, die geeignet erscheinen, auch das feste Dielektrikum zu durchbrechen.

III. Teil.

Die Telegraphie mittels elektromagnetischer Wellen.

Die Versuche von Prof. Popoff.

Als Vorläufer Marconis ist Prof. Popoff insofern anzusehen, als er bei dem von ihm erfundenen Apparate zur Registrierung atmosphärischer Entladungen aus dem Jahre 1895 bereits alle für eine Telegraphenempfangsstation nötigen Bestandteile vereinigt hatte. Eine Feilichtröhre F (siehe Abb. 48) war mit der Batterie B und dem Elektromagneten E eines Relais zu einem Stromkreise vereinigt. Sobald der Kohärer F unter dem Einflusse elektromagnetischer Wellen leitend wird, so zieht der Elektromagnet E seinen Anker A an, der Kontakt K wird geschlossen und dem Batteriestrom ein paralleler Weg über A, K, den Kontakt K_1, den Anker A_1 des Elektromagnetes E_1 und dessen Bewickelung eröffnet. Demzufolge wird der Anker A_1 angezogen und der Kontakt K_1 unterbrochen, während der Klöppel dieses Ankers gegen die Glocke G schlägt; dann kehrt der Klöppel in seine ursprüngliche Stellung zurück und schlägt an den Kohärer an, welcher dadurch seinen Anfangswiderstand wieder annimmt. Nun ist der Apparat wieder zur Aufnahme

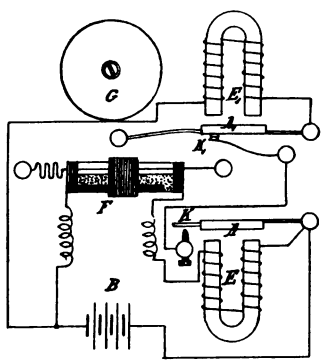


Abb. 48.

Digitized by Google

einer neuen Welle bereit. Um die atmosphärischen Entladungswirkungen dem Kohärer zuzuführen, wurde die Auffangstange eines Blitzableiters oder irgend ein anderer, vertikaler Draht mit der einen Elektrode des Kohärers in Verbindung gebracht, während die andere Elektrode zur Erde abgeleitet war.

Prof. Popoff beschäftigte sich auch mit der Übertragung von Signalen mittels Hertzscher Erreger, wobei als Empfangsvorrichtung die oben geschilderte verwendet wurde, welcher nur ein Relais parallel zum Klingelwerke angeschaltet wurde; er erhielt auf Entfernungen bis 5 km gute Resultate.

Die ersten Einrichtungen Marconis.

Guglielmo Marconi, dessen erstes Patent vom 2. Juni 1896 datiert ist, hatte es verstanden, den Righischen Dreifunkenerreger (siehe Abb. 49), den Radiokonduktor von Calzecchi-Onesti, ein Relais zur Schließung des Lokalstromkreises der Empfangseinrichtung, den Empfangsdraht oder die Antenne von Popoff für die Konstruktion einer Einrichtung für elektrische Wellentelegraphie zu verwenden; als neuer Bestandteil seiner Einrichtung ist nur die Senderantenne zu verzeichnen. Sein wesentliches Verdienst ist es jedoch, durch seine tatkräftige Initiative die Wellentelegraphie sofort auf den Boden der Praxis gesetzt und zahlreiche Durchführungsschwierigkeiten durch sein Erfindertalent überwunden zu haben. Er hat so im Verlaufe weniger Jahre eine Einrichtung geschaffen, welche mit Recht den Namen „System Marconi“ führt.

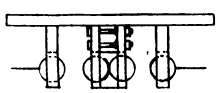


Abb. 49.

Als Stromquelle benützte er eine Batterie von galvanischen Elementen oder von Akkumulatoren, welche einen Ruhmkorffschen Induktor mit etwa 20 cm Funkenlänge in Luft oder etwa 1 mm in Vaselinöl speiste. Als Apparat zur Stromunterbrechung des Primärstromes diente ein Neefscher Hammer. Damit dieser regelmäßig arbeite, wurde eine Hälfte seines Kontaktes durch einen rotierenden Zylinder mit Platinbelag gebildet. Zunächst stellte Marconi seinen Erreger in die Brennlinie eines parabol-zylindrischen Reflektors aus Kupferblech; bald aber verließ er diese Anordnung und verband mit dem Oszillator beiderseits Metallplatten (siehe Abb. 50). Mit ähnlichen Platten war auch der Empfangsapparat ausgestattet. Damals glaubte Marconi durch Vergrößerung dieser Platten und Erhebung derselben über das Niveau die Reichweite der Apparate zu

Digitized by Google

vergrößern. Um Stationen miteinander in Verbindung zu setzen, zwischen denen sich Hindernisse befanden, ersetzte er die eine Platte durch einen Erdanschluß, während die andere Platte an einer hohen Stange befestigt wurde (siehe Abb. 51). Bald erkannte Marconi, daß nicht die Platten das Wesentliche der Einrichtung seien, sondern die aufwärts führenden Drähte. So gelangte er zur Verwendung

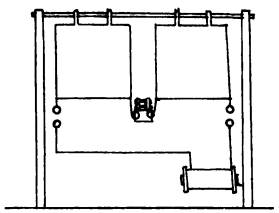


Abb. 50.

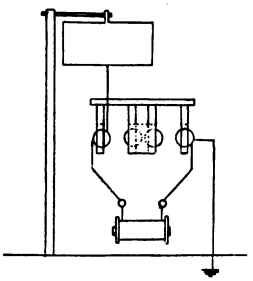


Abb. 51.

der einfachen Drahtantennen, welche für große Entfernungen von Ballons gespannt gehalten wurden. Eine kurze Zeitlang verwendete er auch Oszillatoren, deren Funkenstrecke sich in Öl befand, doch kam er davon bald ab, als er erkannte, daß sich eine regelmäßige Erzeugung von elektromagnetischen Wellen auch mit Luftoszillatoren erzielen ließe.

Als Empfangsapparat wurde eine Zusammenstellung (Abb. 52) gewählt, welche aus einem Kohärer oder einer Röhre mit Metall-

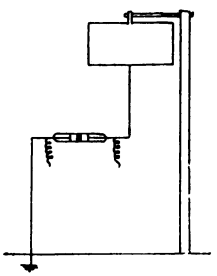


Abb. 52.

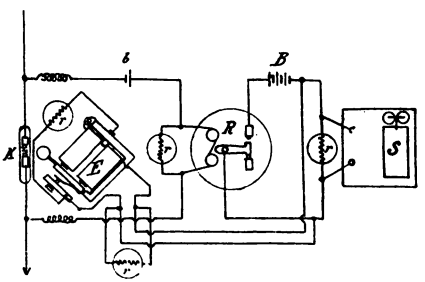


Abb. 53.

feilicht bestand und einerseits mit einer Antenne, andererseits mit Erde verbunden war. Im Nebenschlusse zu dem Kohärer war ein Relais und eine schwache galvanische Batterie geschaltet. In welcher Weise der Kohärer die Übertragung der Signale, welche von der Sendestation durch Betätigung eines gewöhnlichen Morsetasters ausgehen, auf den Morseschreibapparat der Empfangsstation bewirken,

Digitized by Google

wird später eingehend erklärt werden. In Abb. 53 ist die Schaltung einer Empfangsstation schematisch dargestellt; darin sind mit r zu den einzelnen Apparaten parallel geschaltete, große Widerstände, welche das Auftreten von Funken an diesen Apparaten und damit eine unbeabsichtigte Rückwirkung auf den Kohärer zu verhüten bestimmt waren. Die Wirkungsweise ist die folgende: Sobald Wellen den Kohärer K treffen und ihn leitend machen, ist der Stromkreis der Batterie b geschlossen und das Relais R zieht seinen Anker an. Dadurch wird der Stromkreis der Batterie B geschlossen und daher der Schreibapparat S in Tätigkeit gesetzt. Zu diesem letzteren liegt jedoch das Klingelwerk E im Nebenschlusse und kommt daher gleichzeitig in Tätigkeit. Bei der Anziehung des Ankers wird der Strom im Klingelwerke so geschwächt, daß der Anker wieder abfällt und der Klöppel gegen den Kohärer schlägt und ihm den ursprünglichen Widerstand zurückgibt. Damit wird auch der Strom im Relaiskreise stark geschwächt, der Relaisanker fällt ab und der Stromkreis der Batterie B ist unterbrochen. Damit ist der Apparat wieder in seinen Anfangszustand zurückgekehrt und zur Aufnahme eines neuen Wellenimpulses bereit.

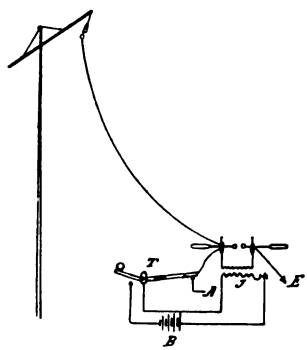


Abb. 54.

In Abb. 54 ist eine komplette Sendestation schematisch wiedergegeben. Dabei bedeuten E den Erdanschluß, J den Induktor, B die Erregerbatterie und T den Morsetaster, dessen rechter Hebel von dem linken isoliert und mit der Funkenstrecke in direkter Verbindung steht. Der Ruhekontakt, auf dem der Hebel aufruht, steht durch dén Draht A mit der zuvor geschilderten Empfangseinrichtung in Verbindung. Bei Betätigung des Tasters T wird die Verbindung zwischen der für Sende- und Empfangseinrichtung gemeinsamen Antenne, bezw. der Funkenstrecke und den Empfangsapparaten unterbrochen. Diese Einrichtung wurde zu dem Zwecke getroffen, damit der Empfänger während des Abspielens eines Telegrammes nicht durch die Oszillationen der Funkenstrecke beeinflußt werde. Zur größeren Sicherheit wurde der Draht A durch ein Metallrohr geführt. Sender und Empfänger wurden auf diese Weise zu einer einzigen Station vereinigt. Außer dem Schreibapparate sind alle Empfängerapparate in einem metallischen Schutzkasten untergebracht,

Digitized by Google

welcher alle unbeabsichtigten elektrischen Störungen zur Erde abzuleiten hatte.

Nach seinen Erstlingsversuchen nächst Bologna reiste Marconi nach London, um seine Projekte zu verwerten. Unter Mithilfe der englischen Postverwaltung wurde dann eine Reihe von Versuchen angestellt: Zunächst auf 100 Yards Entfernung, dann der Reihe nach auf 5,3 km und 14 km. Eine Verständigung gelang im letzten Falle erst durch sukzessive Verlängerung der Antennen bis über 20 m Höhe.

Überblick über die Erfolge der Wellentelegraphie.

Diese Versuche regten auch die italienische Regierung an, dieses neue Verkehrsmittel in der Zeit vom 11. bis 18. Juli 1897 bei Spezia einer Erprobung zu unterziehen. Die zunächst am Lande vorgenommenen Versuche ergaben bis auf eine Entfernung von 3,6 km sehr gute Resultate. Dann wurde die Verständigung zwischen der auf einer Landzunge an der Ostküste des Golfes von Spezia installierten Sendestation mit einer 26 m langen Antenne, welche an ihrer Spitze in eine Zinkplatte endigte, und einer Empfangsstation versucht, welche auf einem Schleppdampfer angebracht war. Die Antenne des Empfängers war an einem 16 m hohen Mast befestigt und auch mit einer Zinkplatte versehen. Der Kohärer war durch einen Draht in das Wasser abgeleitet. Die Verständigung war bis 4 km Entfernung möglich. Nach Erhöhung der Senderantenne bis auf 30 m Höhe gelang die Übertragung bis auf 5,5 km, diese hörte jedoch sofort auf, als der Dampfer hinter einen Landvorsprung fuhr, welcher die Antennen gegenseitig verdeckte. Bei diesen Versuchen wurde auch festgestellt, daß die atmosphärische Elektrizität die Kohärer beeinflußte. Waren beide Stationen gegenseitig in Sicht, so konnten die Signale nahezu bis 13 km Abstand aufgenommen werden, doch nur, solange der Antennenmast sich nicht zwischen beiden Antennen befand. Durch Erhöhung der Sendeantenne bis auf 34 m und des Empfängerluftdrahtes bis auf 28 m erzielte man bei Ausfahrt des nun verwendeten Panzerschiffes eine Telegrammaufnahme bis ungefähr 18 km. Bei der Rückfahrt des Schiffes machte sich das Dazwischentreten der Eisenmaste und Schlote zwischen beide Antennen störend geltend, da die Zeichenaufnahme erst in viel geringerem Abstande möglich war. Auch als sich der Panzer hinter einer der Inseln Palma oder Tino in einer Entfernung von 8 km von der Sendestation befand, trafen keine Signale dort

Digitized by Google

ein. Aus diesen Versuchen leitete Marconi die Beziehung ab, daß die Übertragungsgrenze dem Quadrat der Antennenhöhe proportional sei.

Die Versuche Marconis veranlaßten Slaby, auch Versuche mit Apparaten anzustellen, welche von jenen Marconis nur durch Verwendung gröberer Feilspäne für die Kohärer abwichen; dies deshalb, damit diese gegen atmosphärische Einflüsse minder empfindlich würden. Diese Versuche gelangen mit 23 m langer Sende- und 26 m langer Empfangsantenne auf eine Entfernung von 1,6 km vorzüglich. Die bisherigen Erfahrungen Slabys führten ihn zu der Ansicht, daß die gute Verständigung davon abhängig sei, daß die Länge beider Antennen gleich sei und daß sich zwischen diesen kein Hindernis befinde. Terrainerhebungen, Bäume, Rauchsäulen, Segel usw. beeinträchtigten die Signalaufnahme. Ausgedehntere Versuche unternahm Slaby im Oktober 1897 auf 21 km Entfernung, nämlich zwischen dem Schöneberger Schießplatz, wo die Empfangsstation installiert wurde, und dem Exerzierplatze zu Rangsdorf, wo die Sendestation zur Aufstellung gelangte. Als Antennen wurden zuerst Drahtseile von Fesselballons verwendet, welche 200—280 m steigen gelassen wurden. Als man aber erkannt hatte, daß die damit gewonnenen ungünstigen Resultate in der ungenügenden Isolation der Drahtseile gegen den Ballon und gegen Erde gelegen sei, wurden Kupferdrähte an den Ballons isoliert befestigt und zu den Apparaten geführt. Dann ergab sich eine tadellose Verständigung, insolange schönes Wetter war; bei ungünstigem Wetter dagegen, besonders wenn es von elektrischen Zustandsänderungen der Atmosphäre begleitet war, zeigten sich Störungen, namentlich durch so intensive Entladungen atmosphärischer Elektrizität aus den Antennen in die Apparate, daß die die Apparate bedienenden Personen in großer Lebensgefahr schwebten. Diese Versuche sind insofern von großer Wichtigkeit, weil sie bewiesen haben, daß eine Verständigung mittels elektrischer Wellentelegraphie auf so bedeutende Entfernung möglich sei. Gegen die Gefahren elektrischer Entladungen aus der Atmosphäre haben sich späterhin einerseits die bei gewöhnlichen Telegraphenanlagen verwendeten Blitzschutzvorrichtungen als ausreichend wirksam gezeigt, andererseits aber sind diese Gefahren wesentlich verkleinert worden, da man mit der fortschreitenden Verbesserung der Apparate, vornehmlich des Kohärers, zur Einsicht kam, daß so lange Antennen für eine ordentliche Verständigung nicht notwendig seien.

Digitized by Google

Die im August 1898 von Marconi zwischen einer Yacht des Prinzen von Wales nächst der Insel Wight und dem Schlosse von Osborne durchgeführten Versuche sind von großer Bedeutung. Obwohl die Antenne beim Schlosse nur 31 m, jene über der Kommandobrücke des Schiffes sich nur 25 m erhob, konnte die telegraphische Verständigung bis auf eine Entfernung von 13,5 km aufrecht erhalten werden, auch wenn sich zwischen beiden Antennen ein 50 m hoher Hügel befand.

Es folgten nun mehr und mehr Versuche, welche immer größere Entfernungen überbrückten. Es sollen nur die wichtigsten von ihnen Erwähnung finden. Bei den im Juni 1899 zwischen Wimereux bei Boulogne und der Leuchtturmstation von Southe Foreland bei Dover wurden zuerst 45 m, dann nur 37 m hohe Antennen aus gummiisolierten Kupferkabeln verwendet, welche oben in eine blanke Kupferdrahtspirale endigten. Diese war durch zwei Ebonitzylinder von dem Aufhängemast isoliert. Auch bei Sturm, Nebel oder Regen gelang hier eine gute Verständigung zwischen den 46 km voneinander entfernten Stationen. Außerdem wurden noch das Feuerschiff Goodwind (in 19 km Entfernung von South Foreland) mit einer 24 m langen Antenne, der Avisodampfer Ibis mit einem 22 m hohen Luftdrahte und das Transportschiff La Vienne mit einer 31 m hohen Antenne versehen. Zwischen den Schiffen gelang eine Verständigung bis 20 km, während Telegramme von dem Schiffe La Vienne nach South Foreland bis über eine Entfernung von 48 km übermittelt werden konnten und in umgekehrter Richtung sogar über 52 km. Besondere Erwähnung verdient noch die Verständigung zwischen Wimereux und der Vienne, welche in einem Abstande von 5 km im Hafen von Boulogne verankert war, weil sich zwischen beiden Telegraphenstationen das 75 m hohe Massiv von Crêche erstreckte uud die vielen elektrischen Leitungen beim Hafen von Boulogne eine Schirmwirkung ausüben mußten. Ebenso konnte ein Austausch von Telegrammen zwischen Wimereux und dem Ibis über eine Entfernung von 19 km stattfinden, trotzdem das 100 m hohe Kap gris nez dazwischen lag.

Bei Verwendung 45 m langer Antennen konnte Wimereux mit den in der Grafschaft Essex, und zwar in Harwich und Chelmsford aufgestellten Stationen über eine Entfernung von 136 km verkehren.

Der Versuche der Brüder Le Carme im Sommer 1899 und jener des Hauptmannes Ferrié ist schon an anderer Stelle gedacht worden.

Digitized by Google

Nun war es schon klar geworden, daß man der Wellentelegraphie auch die Verständigung zwischen Schiffen, z. B. einer Flotte, übertragen könne. Im Oktober 1899 unternahm die Marine der Vereinigten Staaten von Nordamerika unter persönlicher Mitwirkung Marconis Telegraphierversuche zwischen dem Panzerschiff „Massachusetts“ und dem Kreuzer „New York“. Der letztere konnte Telegramme bis auf 57 km Entfernung aufnehmen, das erstere nur bis auf 27 km. Bei dem Seemanöver der englichen Marine im selben Jahre brachten diesbezügliche Versuche bessere Ergebnisse. Bei einer Antennenlänge von 45, bezw. 38 m konnten sich die Schiffe in der Regel bis auf 50 km, seltener bis auf 80, einmal bis auf 100 km verständigen. Im Jahre 1900 konnte bei den englischen Flottenmanövern ein noch besseres Resultat erzielt werden; die Schiffe „Juno“ und „Europa“ konnten Telegramme bis auf 136 km wechseln.

In diese Zeit fällt die Ausrüstung von zahlreichen Häfen und Schiffen verschiedener Nationen, namentlich der Engländer und Deutschen, mit Apparaten für Wellentelegraphie. Seither hat diese Einrichtung manche Erfolge gehabt und viel Unheil, namentlich zur See, verhütet.

Interessant sind ferner die Versuche, welche von der Marconis International Marine Communication Company zwischen Biot nahe von Antibes an der südfranzösischen Küste und Calvi auf der Insel Korsika über eine Entfernung von 175 km durchgeführt wurden. Bei einer Übermittelungsgeschwindigkeit von 6—12 Worten in der Minute waren die einzelnen Zeichen vollkommen deutlich, doch konnte die angestrebte Syntonie zwischen den beiden Stationen nicht erreicht werden. Nicht nur, daß alle von Biot entsandten Telegramme von einer anderen nicht abgestimmten Küstenstation mitgelesen werden konnten, sondern es wurden auch in Biot und Calvi die von fremden, über 30 km entfernten Kriegsschiffen gewechselten Mitteilungen aufgenommen.

Noch größere Übermittelungsdistanzen wurden inzwischen erreicht von Marconi, der vom Kap Lizard nach der Insel Wight auf 300 km Nachrichten sandte, von Slaby, welcher die gleiche Entfernung, und von Braun, dem es gelang, 200 km mit seinen Apparaten zu überspannen.

Nicht unerwähnt darf der Versuch Marconis bleiben, bei dem von der Telegraphenstation in Poldhu in Cornwall dem nach Amerika fahrenden Dampfer „Philadelphia“ Mitteilungen nachgesandt wurden.

Digitized by Google

Bis 2400 km konnte der Dampfer bei Nacht deutlich aufnehmen, bis 3300 km erhielt er nur noch schwache Zeichen; bei Tag hörte die Verständigung schon bei 1100 km auf, was Marconi auf die entladende Wirkung des Tageslichtes auf die Sendeantenne zurückführt.

Höchst bemerkenswert sind die Versuche, welche auf dem italienischen Kreuzer „Carlo Alberto" während seiner Fahrt nach Kronstadt und von dort zurück nach Italien vorgenommen wurden, und zwar nicht nur in Hinblick auf die Größe der durch die Telegramme überspannten Entfernungen, sondern auch insbesondere deshalb, weil die Übermittelung in bedeutendem Maße Landstrecken überwinden mußte. Als Sendestation mußte die von der Marconi-Gesellschaft in Poldhu aufgestellte Station, welche sich vor den übrigen Stationen dieser Gesellschaft durch die übergroße Intensität der entsendeten Wellen auszeichnet, zu bestimmten Zeiten, und zwar von 12—1 Uhr mittags und von 1—3 Uhr nachts alltäglich Zeichen entsenden. Es war festgesetzt worden, daß in den ersten zehn Minuten jeder Viertelstunde die Buchstaben C A, dann der Buchstabe S in häufiger Wiederholung und schließlich irgend eine Mitteilung über ein interessantes Tagesereignis abtelegraphiert werden sollte. Die Versuche, welche unter persönlicher Anwesenheit Marconis auf dem Schiffe durchgeführt wurden, nahmen am 7. Juli 1902 mittags ihren Anfang, als der „Carlo Alberto" etwa 800 km von Poldhu entfernt war, wobei große Landstrecken zwischen beiden Stationen lagen. Sowohl mit dem Kohärer, als auch mit dem magnetischen Wellendetektor Marconis wurden Telegramme aufgenommen. Die Zeichen waren wohl deutlich, aber nicht von großer Intensität. Bei einer Entfernung von 900 km in der folgenden Nacht fand eine regelmäßige Aufnahme der Zeichen sowohl mit dem magnetischen Detektor und dem Telephon, als auch mit dem Kohärer und dem Morseapparate statt, und zwar besser als am Vortage, vermutlich weil das Tageslicht keinen störenden Einfluß üben konnte. Am Mittag des 8. Juli konnten nur einige S im Telephon vernommen werden, jede übrige Aufnahme war gestört. Aber zwölf Stunden später waren die Signale wieder vernehmbar, so daß sie mit beiden Apparaten erkennbar waren, trotzdem sich der Dampfer abermals in größerer Entfernung befand und zwischen beiden Stationen England in seiner ganzen Breite und die Nordspitze von Dänemark lag. In Kronstadt waren die Telegramme auch nachts bereits unleserlich geworden. Als jedoch die anfangs

Digitized by Google

verwendete, vierdrähtige Antenne (siehe Abb. 55) gegen eine fünfzigdrähtige Fächerantenne (Abb. 56) ersetzt worden war, stellten sich wieder deutliche Zeichen ein. Auf der Rückfahrt von Kronstadt, und zwar, als sich der „Carlo Alberto" nordöstlich von Gotland in einer Entfernung von etwa 2000 km von Poldhu befand, erschienen in der Nacht vom 22. auf den 23. Juli außerordentlich deutliche Zeichen. Gegen 2 Uhr nachts jedoch traten Störungen durch atmosphärische Entladungen auf, so daß die mit einer Geschwindigkeit von 15 Worten in der Minute entsandten Zeichen sogar mit dem Telephone nur mühsam entzifferbar waren. Wenn es auch gelang, durch Anschaltung verschiedener Stromkreise von verschiedener Eigenschwingung an das Antennensystem den Einfluß der atmosphärischen Störungen auf kurze Zeit zu beseitigen, so trat dennoch bald ein völliger Stillstand in der Aufnahme ein. Nach mancherlei mißglückten Versuchen, wie Wendung des Schiffes etc., wurde erst

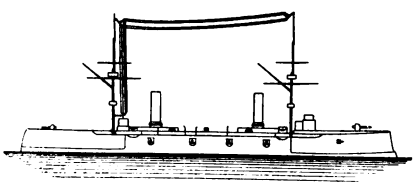


Abb. 55.

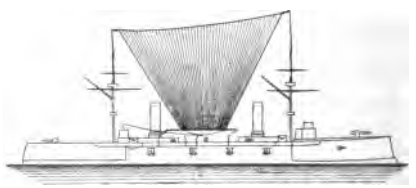


Abb. 56.

das Schlußsignal um 2 Uhr 45 Min. nachts deutlich vernommen. Sobald der „Carlo Alberto" die Rhede von Kiel erreicht hatte, trafen die von Poldhu ausgegangenen Zeichen so deutlich ein, daß von der Verwendung des magnetischen Detektors Abstand genommen und nur mehr der Kohärer benützt wurde.

Aus dem Berichte des Schiffsleutnants Solari an die italienische Regierung über diese Versuche ist nicht zu entnehmen, daß während der Fahrt nach Kronstadt zusammenhängende Mitteilungen an das Schiff gelangten. Nachdem man die von Poldhu entsandte Energie aber so viel als möglich vergrößert hatte, gelang es auf der Rückreise nach Italien, wirkliche Telegramme über Entfernungen aufzunehmen, welche 1500 km erreichten. Dabei verursachte die unmittelbare Nachbarschaft von hohen, steilen Gestaden keine Störungen. Nicht nur auf hoher See an der Breite von Frankreich und Spanien, sondern auch in den Hafenplätzen von Ferrol, Cadix und Gibraltar blieben die Mitteilungen von Poldhu lesbar. Sogar zwischen Cagliari und Spezia wurde, trotzdem zwischen beiden Stationen ganz

Digitized by Google

Frankreich und das Massiv der Alpen lagen, auf dem Schiffe ein Glückwunschtelegramm aufgenommen, welches von der italienischen Botschaft in London an Marconi aufgegeben worden war. Freilich wurde es von Poldhu durch 55 Stunden ununterbrochen wiederholt, ehe es am „Carlo Alberto" entziffert werden konnte. Außerdem ist es sichergestellt, daß manche anderen, von Poldhu entsandten Botschaften am „Carlo Alberto" nicht eintrafen.

Nun erübrigt es noch, der Versuche einer transozeanischen Verständigung, welche im Dezember 1902 von Marconi zwischen Poldhu und Massachusetts und dann zwischen Poldhu und Kap Breton in Kanada über den Atlantischen Ozean unternommen wurden, Erwähnung zu tun. Wenn auch Einzelheiten hierüber bekannt geworden und angeblich Telegramme gewechselt worden sind, so sind doch glaubwürdige Nachrichten über die hierbei erzielten Erfolge nicht in die Öffentlichkeit gedrungen.

Nach den Berichten der Zeitschrift „L'Industrie Électrique" hat die Marconi-Gesellschaft auf den zwischen England und Amerika verkehrenden Schiffen die Herausgabe eines Reisejournals unter dem Titel „Cunard Daily Bulletin" begonnen. Die Passagiere des Packetbootes „Campania", welches am 12. Juni 1904 in New York eingelangt ist, konnten jeden Morgen während ihrer Überfahrt die teils von Poldhu in Cornwall, teils von Kap Breton in Neu-Schottland während der Nacht übermittelten Mitteilungen in der acht Seiten umfassenden Zeitung lesen. Die wellentelegraphische Verständigung von England reichte bis 3680 km, jene von Amerika begann bei 3200 km Entfernung.

Die Apparate zur elektromagnetischen Wellentelegraphie.

a) Der Ruhmkorffsche Induktor.

Der Ruhmkorffsche Funkeninduktor, der bei mancherlei Experimenten verwendet werden kann, ist jedoch für die elektrische Wellentelegraphie von besonderer Wichtigkeit, weil er vornehmlich bei der Hervorrufung elektrischer Wellen Verwendung findet.

Er wird in folgender Weise hergestellt. Auf einem zylindrischen Bündel aus dünnen, weichen Eisendrähten wird ein gut isolierter, einige Millimeter dicker Kupferdraht zu einer Spule von wenigen Lagen — oft sind es nur zwei — aufgewickelt. Um diese Spule wird eine zweite aus sehr dünnem, gut isoliertem Kupferdrahte gewickelt, welche außerordentlich viele Windungen und Lagen besitzt.

Digitized by Google

Die Bewickelung aus dem dicken, kurzen Drahte wird mit einer Stromquelle, z. B. einer galvanischen Batterie, und einer Stromunterbrechungsvorrichtung zu einem Stromkreise geschaltet. Beim Schließen wie beim Öffnen dieses Stromkreises tritt in ihm ein Induktionsextrastrom auf. Da der Öffnungsstrom mit dem unterbrochenen Strome gleiche Richtung hat, so kann man durch ihn besonders kräftige Stromwirkungen erzielen. Der Strom der Stromquelle, welcher bei der Unterbrechung durch die Selbstinduktion gleichsam geschwellt wird, erzeugt ein kräftiges magnetisches Feld, dessen Kraftlinien die äußere, induzierte Spule vollkommen durchdringen. Da durch jede Windung der induzierten Spule nahezu dieselbe magnetische Kraftströmung hindurchgeht, so bildet sich infolge der großen Windungszahl an den Drahtenden dieser Spule eine bedeutende Potentialdifferenz aus, welche zur Erzeugung sehr langer Entladungsfunken hinreicht. Allerdings steht die Windungszahl zu der Potentialdifferenz nicht immer in einem einfachen Verhältnisse.

Auch der Schließungsextrastrom ruft Funken hervor, jedoch sind diese viel kürzer als die dem Öffnungsstrome entstammenden, deshalb verwendet man den letzteren allein zur Funkenerzeugung. Die Funkenlänge ist jedoch auch noch von der Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge der Unterbrechungen abhängig; ist diese zu groß, so hat das Eisenbündel nicht genügend Zeit, um von einer Unterbrechung bis zur nächstfolgenden Stromschließung seinen Magnetismus vollständig abzugeben und in Induktionsströme umzusetzen. Um dennoch bei sehr häufigen Unterbrechungen hohe Potentialdifferenzen zu erhalten, muß man induzierende Ströme von um so höherer elektromotorischer Kraft anwenden, damit ein möglichst starkes Magnetfeld erzeugt werde.

Die elektrische Telegraphie verwendet solche Induktorien, welche im Bau von den in physikalischen Laboratorien verwendeten wenig abweichen, durch ihre bedeutende Größe jedoch der Anforderung einer großen Energieabgabe genügen sollen. Leider ist der Nutzeffekt im allgemeinen ein recht geringer, da die Sekundärwickelung selten mehr als $^1/_5$ der in die Primärwickelung hineingesendeten Energie wiedergibt.

Die hohen Spannungen, welche in der Sekundärwickelung auftreten, erfordern eine sorgfältige Isolation. Rasche Temperaturänderungen können in festen Isolationsmaterialien Sprünge hervorrufen, welche stille Entladungen ermöglichen und dadurch ein

Digitized by Google

Durchschlagen der Isolation vorbereiten. In den meisten Fällen macht ein Durchschlagen der Isolation den Apparat unverwendbar und wertlos. Flüssige Isolatoren zeigen diesen Übelstand nicht, jedoch kann man mit ihnen nur einen viel geringeren Isolationsgrad erreichen. Um die Vorteile beider Isolationsmaterialien zu vereinen, benützen Wydts & Rochefort zur Isolation ihres Transformators eine teigige Lösung von Paraffin in Petroleum. Dieser Apparat soll bei einem wesentlich geringeren Bedarf an Kupfer und nur einem Sechstel an Energiekonsum dasselbe leisten wie ein gewöhnlicher Induktor. Um eine weitere Steigerung des Nutzeffektes zu erzielen, verbinden Wydts & Rochefort das dem Primärkreise am nächsten gelegene Ende des Sekundärkreises mit Erde und nennen demnach ihren Apparat einen unipolaren Transformator.

Von der Form der gewöhnlichen Starkstromtransformatoren ist jener von Klingelfuß. Er besitzt einen Eisenkern von Hufeisenform, auf dessen Schenkeln eine Primär- und eine Sekundärspule aufgeschoben und dessen magnetischer Stromkreis durch zwei an den Kernpolen angebrachte Eisenstücke mehr oder weniger vollkommen geschlossen wird. Nach den Untersuchungen von H. Veillon ist der Klingelfußsche Transformator bei geschlossenem Eisenkerne und Hintereinanderschaltung der Spulen jeder Wickelung einem gewöhnlichen Induktionsapparate im Nutzeffekte 4,5—8 fach überlegen.

Wenn an die Funkenstrecke des Induktors nicht eine einfache Antenne angeschlossen ist, sondern ein geschlossener Schwingungskreis, von dem dann erst die Antenne abgezweigt ist oder mit dem die Antenne induktiv gekuppelt ist, so ist wegen der geringen Dämpfung des angeschlossenen Schwingungskreises leicht einzusehen, daß eine Rückwirkung auf den magnetischen Stromkreis des Induktors eintreten wird, welche den Wirkungsgrad beeinträchtigt.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie Prof. Braun und Siemens & Halske wählt die Dimensiouen des Eisenkernes und die Abmessungen der beiden Wickelungen in der Weise, daß dadurch eine möglichst kleine Zeitkonstante des Ladungskreises und damit eine möglichst geringe Rückwirkung erreicht wird. Wenn zwar bei den Induktorien dieser Art, welche eine sehr lange Primärwickelung und eine verhältnismäßig kurze Sekundärwickelung besitzen, die freie Spannung an den Enden der sekundären Spule etwas geringer ist als bei anderen gleich großen Induktorien, so sind sie dennoch zur Ladung von Kondensatoren großer Kapazität besonders geeignet. Die Leitungsverluste durch Ohmschen Widerstand sind durch reichlich

Digitized by Google

große Wahl des Querschnittes des Sekundärdrahtes sehr heruntergedrückt und auch der Isolation ist eine besondere Sorgfalt gewidmet.

In neuerer Zeit hat man auch angefangen, die Primär- und die Sekundärwickelung aufeinander abzustimmen und so sogenannte Resonanzinduktorien zu bauen.

Wo es sich darum handelt, besonders große Energiemengen in Wellenform in den Raum auszusenden, werden als Stromquellen nicht galvanische Elemente oder Akkumulatoren, sondern Wechselstrommaschinen benützt, deren Strom, mittels Transformatoren auf die gewünschte Spannung hinauftransformiert, dann zur Speisung der Funkenstrecke dient.

Von Slaby-Arco ist auch ein Induktor (siehe Abb. 57) in Verwendung genommen worden, der entweder einen direkten Anschluß

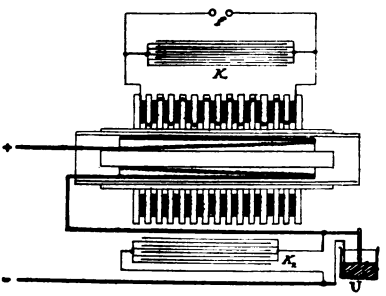


Abb. 57.

an eine Gleichstromlichtleitung gestattet oder (unter Hinweglassung des mit *U* bezeichneten Unterbrechers) auch an eine Wechselstromleitung angeschlossen werden kann.

b) Die Stromunterbrecher.

Zum Zwecke der Unterbrechung des Primärstromes bei Sendestationen für Wellentelegraphie sind die meisten der bestehenden Unterbrechertypen versuchsweise verwendet worden. Es können daher nur einige wichtige, in der Praxis mehrfach verwendete Typen erwähnt werden.

Die Wireless Telegraph and Signal Company verwendet bei ihren Stationen den bereits genannten Hammerunterbrecher, trotzdem die Kontaktflächen desselben, namentlich wenn größere Energiemengen in Verwendung kommen, einer ziemlich raschen Abnützung unterliegen.

Eine ziemlich ausgebreitete Benutzung haben Apparate gefunden, welche auf dem Prinzipe des Wehneltschen Unterbrechers basieren.

Digitized by Google

Dieser elektrolytische Unterbrecher beruht auf der Erscheinung, daß der Strom einer Batterie, welche durch verdünnte Schwefelsäure, in welche Platinelektroden sehr kleiner Oberfläche eintauchen, geschlossen ist, intermittierend wird, wenn die elektromotorische Kraft der Batterie genügend erhöht wird. Dabei entsteht auf den Elektroden eine Lichterscheinung, welche besonders an der Anode lebhaft ist, und man vernimmt einen Ton, dessen Schwingungszahl durch die Zahl der Stromunterbrechungen bestimmt ist. Man erklärt diesen Vorgang wie folgt: Der intensive Strom erhitzt die Platinelektroden so sehr, daß die mit ihnen in Berührung stehende Flüssigkeit plötzlich verdampft. Durch die so um die Elektroden auftretende Dampfhülle entsteht eine Stromunterbrechung, welche von einem glänzenden Unterbrechungsfunken begleitet ist. Mit Aufhören des Stromes verdichtet sich der Wasserdampf teilweise und teilweise steigt er mit dem an der Anode erzeugten Sauerstoffe durch den Elektrolyten in die Höhe. Die Flüssigkeit berührt die Elektrode neuerlich

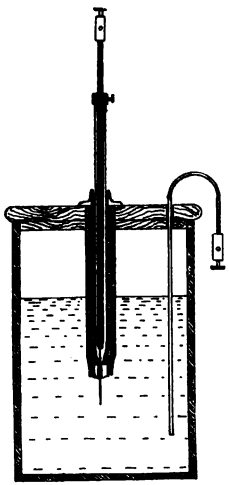


Abb. 58.

Abb. 59.

Abb. 60.

und es wiederholt sich der geschilderte Vorgang. Häufig verwendet man als Kathode eine große Bleiplatte und als Anode einen dünnen Platindraht, welcher durch ein isolierendes Rohr in den Elektrolyten eintritt. In Abb. 58 ist eine von Zehnder vorgeschlagene Ausführungsform dieses Unterbrechers dargestellt.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie verwendet im allgemeinen Formen des Wehnelt- oder Simon-Unterbrechers, besonders dort, wo der Aufwand großer primärer Energie notwendig ist. Wo dies nicht der Fall ist, finden Quecksilberstrahlenunterbrecher Anwendung. Zu dieser Kategorie gehört der Turbinenunterbrecher der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin". Er besteht aus einer durch einen Motor angetriebenen Quecksilberturbine; die Tourenzahl des Motors pro Minute kann zwischen 200 und 1000

Digitized by Google

variiert werden. Die vertikal stehende, hohle Achse (Abb. 59) taucht mit ihrem unteren Ende in einen 3 kg Quecksilber enthaltenden Behälter (Abb. 60). Bei rascher Rotation der Turbinenachse schöpfen die an ihr befestigten Flügel Quecksilber, welches durch die hohle Achse aufsteigt und vermöge der Zentrifugalkraft durch eine 2 mm^2 große Öffnung in horizontalen Strahle herausgeschleudert wird. Der Quecksilberstrahl trifft während eines Teiles jeder Umdrehung einen isoliert angebrachten Metallvorsprung und stellt während dieser Zeit eine leitende Verbindung zwischen diesem Metallteile und dem Quecksilberbehälter her, welcher oberhalb ganz mit Alkohol gefüllt ist, um die Löschung der Unterbrechungsfunken zu beschleunigen. Eine Ansicht dieses Unterbrechers in Kuppelung mit dem Motor zeigt Abb. 61.

Abb. 61.

Da für die Wellenerzeugung die Form und Wirkungsweise des Unterbrechers im allgemeinen gleichgültig ist, wofern nur dessen Konstruktion und Handhabung einfach ist, so wird man wohl jene Unterbrecher vorziehen, deren Frequenz eine größere ist, weil diese die raschere Nachlieferung eines Ersatzes für die ausgestrahlte Energie ermöglichen. In dieser Beziehung übertreffen die elektrolytischen Unterbrecher im allgemeinen die Quecksilberunterbrecher, dagegen arbeiten sie mit geringerer Zuverlässigkeit und verbrauchen mehr Energie wie diese.

c) Verschiedene Formen der Kohärer und Antikohärer.

Die Formen, welche die Kohärer unter den Händen der Erfinder angenommen haben, sind mannigfaltig; ihre Zahl ist sehr groß. Es mag daher genügen, die wichtigsten Repräsentanten unter ihnen herauszugreifen.

Kohärer ohne spezielle Reguliervorrichtung. Vor allem kommt hier der Kohärer von Marconi in Betracht, dem es gelang, die ursprünglich in ihrer Wirksamkeit sehr unverläßliche Feilichtröhre zu einem sehr verläßlichen und sehr empfindlichen Apparate

Digitized by Google

umzugestalten. In Abb. 62 ist die heutige Form desselben wiedergegeben. Eine Glasröhre von 3—4 mm innerer Lichte und 4—6 cm Länge enthält zwei, beinahe dicht eingepaßte Silberzylinder, welche zwischen ihren polierten Endflächen einen Zwischenraum von etwa $^1/_2$ mm frei lassen. Dieser Raum wird mit Feilspänen gefüllt, welche aus 96 % Nickel und 4 % Silber bestehen. Nach der Angabe Marconis erhöht der Zusatz von mehr Silberspänen die Empfindlichkeit des Instrumentes gegenüber der Einwirkung elektrischer Wellen, jedoch darf man über den angegebenen Prozentsatz nicht hinausgehen, da dadurch die Verläßlichkeit des Kohärers vermindert wird. Eine ganz leichte Amalgamierung der Endflächen der Silberzylinder erhöht gleichfalls die Empfindlichkeit. Die Größe der Feilspäne muß vollkommen gleich sein, was durch sorgfältiges Sieben der Körner durch mehrere Siebe erzielt wird; sie muß mit der Größe des Zwischenraumes im Verhältnisse stehen. In den Zwischenraum werden nur soviel Späne eingebracht, daß ihnen bei den durch den Klopfer hervorgebrachten Erschütterungen eine gewisse Bewegungsfreiheit bleibt. An den äußeren Endflächen der Zylinder

Abb. 62.

Abb. 63.

sind Platindrähte angelötet, welche in die Glaswand eingeschmolzen sind und so eine metallische Verbindung nach außen herstellen. Der Kohärer wird endlich bis auf einen Druck von $^1/_{1000}$ Atmosphären ausgepumpt. Vor Gebrauchnahme wird der Kohärer auf seine Empfindlichkeit geprüft; er muß, um geeignet zu sein, auf die Unterbrechungsfunken einer gewöhnlichen elektrischen Klingel, welche von ihm einen Abstand von 1—2 m hat, ansprechen, d. h. sein Widerstand, der vor dem Einfallen der Wellen praktisch unendlich groß sein soll, muß sich dabei auf 500—100 Ohm erniedrigen.

Um den Kohärer möglichst lange gebrauchsfähig zu erhalten, empfiehlt Marconi, die in ihm vorhandene Stromstärke nie über ein Milliampère ansteigen zu lassen. Der Kohärer erhält seinen ursprünglichen Widerstand durch eine Erschütterung, welche durch Aufschlagen des Klöppels eines gewöhnlichen Klingelwerkes auf die Kohärerröhre hervorgebracht wird.

Die Wireless Telegraph and Signal Company verwendet entweder diesen Kohärer oder eine Abänderung desselben, welche in Abb. 63 dargestellt ist. Sie unterscheidet sich vom vorigen nur

Digitized by Google

darin, daß die inneren Endflächen der Silberelektroden nicht parallel, sondern schräg abgeschnitten sind, so daß zwischen ihnen eine keilförmige Spalte bleibt.

Der Radiokonduktor, System Branly-Popp (Abb. 64), besteht aus einem Dreifuße aus Stahl, dessen Zinken im Gasofen künstlich oxydiert wurden, und der auf einer auf Hochglanz polierten Stahlplatte aufruht. Als Material für diesen Wellendetektor können auch andere Metalle, z. B. Silber, Verwendung finden. Er wird auf dem Ankerhebel des Morseapparates befestigt, da die beim Anschlage dieses Hebels stattfindende Erschütterung ausreicht, um ihn in den schlechtleitenden Zustand zurückzuführen.

Abb. 64.

Der Kohlekohärer von Tommasina wurde in der Absicht konstruiert, um die spontane Rückkehr dieses Apparates zum ursprünglichen Widerstande für die elektromagnetische Wellentelegraphie nutzbar zu machen. Er besteht aus einem 2,5 mm hohen Ebonitgehäuse von 2 mm Durchmesser, welches mit Mikrophonpulver

Abb. 65.

gefüllt und durch zwei Glimmerplättchen abgeschlossen ist. Als Elektroden sind zwei Neusilberdrähte in das Kohlepulver eingeführt. Die Empfindlichkeit dieses Apparates soll nicht geringer sein als jene eines gewöhnlichen Feilichtkohärers.

Popoff hat einen Wellenindikator zusammengestellt, dessen Füllmaterial entweder aus Kohle oder aus einem durch Zerstoßen oberflächlich oxydierter Stahlkugeln gewonnenem Materiale bestand und dessen Elektroden zwei in geringem Abstande voneinander in einer Glasröhre befindliche Platinbleche waren (siehe Abb. 65). Dieser Kohärer soll nach Angabe des Erfinders vollkommen regelmäßig funktionieren, wenn die Stahlteilchen durch Einsetzung isolierender Zwischenwände gleichmäßig über die Röhre verteilt werden. Er ist selbstdekohärierend.

Die von Aschkinaß an einem Gitter aus übereinandergelegten Stanniolstreifen beobachtete Kohärerwirkung ist von Mizuno näher untersucht worden; eine ähnliche Konstruktion ist von Schniewindt erdacht worden: In ein siebartiges Geflecht aus Drahtgaze werden Zickzack- oder Schlangenlinienschnitte angebracht, so daß das

Digitized by Google

System aus zwei einander nahestehenden Leitern besteht (siehe Abb. 66).

Der empfindlichste Kohärer soll jener von Pr. Minchin sein. Er ist, wie Abb. 67 zeigt, folgendermaßen zusammengestellt: In ein allseitig geschlossenes Glasrohr, das in seinem unteren Teile mit Quecksilber gefüllt ist, sind zwei Platindrähte eingeschmolzen. An den oberen Platindraht ist ein Aluminiumdraht *A—A* befestigt, der mit seinen beiden ringförmig gebogenen Enden einen Kohlenzylinder *K* trägt; in diesen ist ein Platindraht eingeschraubt, welcher in das Quecksilber eintaucht. Dieser Kohärer ist teilweise selbstdekohärierend; wird ein Telephon als Empfangsapparat benützt, so braucht man keinen Klopfer zu verwenden, wohl aber, wenn statt des Telephons ein Relais zur Anwendung kommt.

Abb. 66.

O. Lodge wurde durch die Erwägung, daß Körnerkohärer einerseits wegen der erforderlichen Einwirkung des Klopfers, welche stets eine Änderung in der Lagerung der Feilspäne hervorbringt, andererseits wegen ihrer Abhängigkeit von gewissen atmosphärischen Einflüssen eine stark wechselnde Empfindlichkeit zeigen, dahin gebracht, einen neuen Kohärer zu konstruieren, welcher stets neue Teile für die Wellenwirkung bereitstellt. In Abb. 68 ist derselbe skizziert. Darin stellt *m* eine Stahlscheibe dar, welche durch ein Uhrwerk in Rotation erhalten wird und durch ein sehr dünnes Ölhäutchen von der Oberfläche der Quecksilbersäule *h* getrennt ist. Der Quecksilberbehälter *t* ist unten durch die Anschlußschraube *s* abgeschlossen, welche die in das Quecksilber hineinragende Platinspirale *p* trägt. Der zweite Anschluß wird durch die Kupferbürste *k* hergestellt, welche auf der Achse *a* des Rades *m* schleift. Um die Umfangsfläche dieses Rades stets rein zu erhalten, ist die Feder *f* an ihrem Ende mit einem Stückchen Filz *r* ausgestattet, welches gleichfalls über *m* schleift. Dieser Kohärer spricht bereits bei einer Potentialdifferenz von 1 Volt an, und zwar um so sicherer, je größer die Schwingungsdauer der einfallenden Wellen ist. Beim Einlangen elektrischer Wellen wird das Ölhäutchen zerrissen und das Quecksilber tritt mit der Stahlscheibe in Kontakt, der jedoch durch die Drehung des Rades gleich wieder unterbrochen wird.

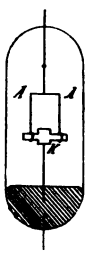


Abb. 67.

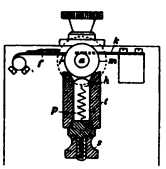


Abb. 68.

Digitized by Google

Hieran reiht sich der Wellenanzeiger von L. H. Walten (siehe Abb. 69) an. Das Gefäß G wird soweit mit Quecksilber gefüllt, daß dieses die Kapillarröhre k wohl berührt, in sie aber wegen der Kapillarkräfte nicht eindringen kann. In die Kapillarröhre ist ein feiner Platindraht bis zu einem Abstande von 0,1—0,05 mm von der unteren Öffnung des Rohres eingeführt und in dieser Lage befestigt. Unter dem Einflusse elektrischer Wellen dringt Quecksilber in das Kapillarrohr ein und kommt mit dem Platindrahte in metallische Berührung; demzufolge betätigt die Batterie b das Relais R, wodurch der Stromschluß für die Batterie B hergestellt wird. Der Anker a des Elektromagnetes E wird angezogen und hebt das Rohr k so weit, daß der Kontakt mit dem Quecksilber unterbrochen wird. Daher fällt der Relaisanker wieder in

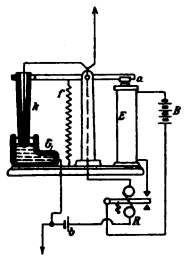


Abb. 69.

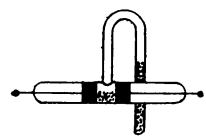


Abb. 70.

seine Ruhelage zurück und die Abreißfeder f kann den Elektromagnetanker a in seine Anfangslage zurückführen.

Kohärer mit Empfindlichkeitsregulierung. Die schon erwähnte Unverläßlichkeit der Feilichtkohärer, welche teils in der Veränderung der Lage der Körner, teils in der Veränderung des Oberflächenzustandes derselben wie der Elektroden und endlich in der Verschiedenheit der einwirkenden Wellen ihre Begründung findet, hat die Erfinder schon zu Beginn der Aera der elektrischen Wellentelegraphie dahin geführt, eine Regulierung der Empfindlichkeit dieser Apparate zu versuchen. Bereits Branly hat die Elektroden verschiebbar eingerichtet, um ihre Entfernung nach Bedarf einstellen zu können.

Blondel setzte an die Glasröhre zwischen den Elektroden ein einseitig geschlossenes U-Rohr mit Feilichtvorrat an (siehe Abb. 70), so daß zwischen die Elektroden eine beliebige Menge von Spänen gebracht werden konnte. Da sich diese Einrichtung wegen großer Gebrechlichkeit des Ansatzrohres nicht bewährte, änderte sie Ferrié in der in Abb. 71 dargestellten Weise ab. Eine der aus Neusilber bestehenden Elektroden E_1 wird mit einem Hohlraum H in Ring-

Digitized by Google

form versehen, in welchem die Reservefeilspäne Platz finden. Diese bestehen aus Altsilber oder mit Kupfer legiertem Silber oder Gold und können durch den Ausschnitt *r* zwischen die Elektroden gebracht werden.

In einfacherer Weise wird derselbe Zweck durch die Konstruktionen von Ducretet und der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin erreicht. Der Kohärer von Ducretet (siehe Abb. 72) besitzt Elektroden aus Nickel oder aus Eisen, Neusilber oder Silber, deren einander zugekehrte Endflächen gut poliert sind. Eine dieser

Abb. 71.

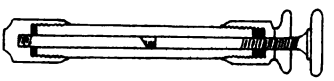


Abb. 72.

Endflächen steht senkrecht, die andere schräg zur Achse der Röhre. Der Abstand zwischen den Endflächen läßt sich durch Umdrehung einer Schraube, welche mit der senkrecht abgeschnittenen Elektrode in Verbindung steht, verändern. Zwischen die Elektroden werden Nickelspäne von bestimmtem Korne und bestimmtem Oxydationsgrade eingeführt. Der Kohärer der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft hat, wie jener der Wireless Telegraph and Signal Company, schräg abgeschnittene Elektroden und wird daher Keilspaltkohärer genannt. Die Regulierung der Empfindlichkeit des Kohärers geschieht durch Drehung um seine Achse; da die Feilspäne den Zwischenraum zwischen den Elektroden nicht völlig ausfüllen, können sie sich bei Verdrehung des Kohärers auf einen größeren oder kleineren Raum ausbreiten.

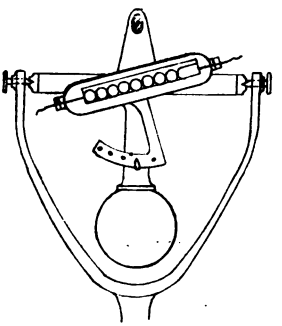


Abb. 73.

Orling & Braunerhjelm verwenden zur Regulierung der Empfindlichkeit die Veränderung des Druckes. In einer luftleeren Röhre befindet sich eine Reihe von Kugeln aus leitendem Material, welche die Stelle der Feilspäne vertreten. Der Druck zwischen den einzelnen Kugeln wird dadurch verändert, daß man der in einer cardanischen Aufhängevorrichtung angebrachten Röhre eine verschiedene Neigung gibt (siehe Abb. 73).

A. H. Taylor stellt einkontaktige Kohärer her. Eine der neueren Konstruktionen besteht aus einer Nickelspitze und einer

Digitized by Google

Nickelplatte, deren Abstand mit Hilfe einer Mikrometerschraube sehr genau eingestellt werden kann (ein Teilstrich der zugehörigen Teilscheibe entspricht einem Abstande von 0,0037 mm). Dieser Apparat hat eine außerordentliche Empfindlichkeit sowohl gegenüber elektrischen Einwirkungen, als auch gegenüber akustischen. Diese Apparate, welche sich nicht einfach in den Anfangszustand versetzen lassen, dienen jedoch mehr experimentellen und theoretischen, als praktischen Zwecken.

Bei dem von Castelli konstruierten Kohärer (siehe Abb. 74 und 75), welcher von Quintino Bonomo bei den Versuchen der

Abb. 74.

Abb. 75.

italienischen Marine verwendet wurde, bestehen die Elektroden entweder aus zwei Eisenzylindern oder aus zwei Kohlezylindern. Im ersten Falle befindet sich zwischen den Elektroden ein Quecksilbertropfen, im zweiten Falle jedoch eine Zwischenelektrode aus Eisen, welche von den Kohleelektroden durch je einen Quecksilbertropfen getrennt ist. Dieser Kohärer kann bezüglich seiner Empfindlichkeit durch Abstandsänderung der Elektroden, sowie durch Neigung des Apparates einreguliert werden. Dieser anfangs äußerst empfindliche Kohärer, welcher ohne äußere Einwirkung zu seinem Anfangswiderstande zurückkehrt, soll seine Empfindlichkeit bald verlieren. Diesem Übelstande soll dadurch gesteuert worden sein, daß man durch Bestreuung der Quecksilbertropfen mit einem aus der Zerkleinerung von Glühlampenfäden gewonnenen Kohlenstaub die Oxydation der Quecksilberoberfläche in wirksamer Weise verhinderte.

Abb. 76.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie in Berlin hat einen Kohärer in Verwendung, bei dem die Empfindlichkeit durch die Einwirkung eines permanenten Magneten reguliert werden kann. In einer Ebonitröhre sind zwei Stahlelektroden angebracht, zwischen deren auf Hochglanz polierten Endflächen sich gesiebtes Pulver aus gehärtetem Stahl befindet (siehe Abb. 76). Die in der Zeichnung links gezeichnete Stabelektrode kann in der Metallfassung, durch welche sie hindurchgeht, mittels einer Klemmschraube festgestellt werden. Die zweite Elektrode, welche durch eine Spiralfeder nach rechts gedrückt wird, findet die Begrenzung ihrer Bewegung durch

Digitized by Google

die die rechte Mantelfassung durchsetzende, randerierte Schraube. Die aus der Röhre herausragende Elektrode befindet sich zwischen den Polen eines permanenten Magnetes, durch dessen Verschiebung die Magnetisierung der Elektrode in dem einen oder anderen Sinne bewirkt und so die Empfindlichkeit des Kohärers reguliert werden kann.

Wellenanzeiger, deren Wirksamkeit auf anderen Prinzipien beruht. — Ein Apparat, welcher viel schneller arbeiten soll als die anderen Wellenanzeiger, ist der Hitzdrahtbarretter von Prof. Reginald A. Fessenden. Er beruht einigermaßen auf dem Prinzip des Bolometers, jedoch überwiegen hier die Leitungsverluste über die Ausstrahlungsverluste. Der Hitzdrahtbarretter (siehe Abb. 77) besteht aus einer kurzen Schleife aus Silberdraht von einem Durchmesser von 0,05 mm, welcher eine Platinseele von 0,015 mm Durchmesser besitzt. Am untersten Teile der Schleife, welche in eine Glasbirne eingeschlossen ist, ist der Silberüberzug mittels Salpetersäure entfernt. Um Verluste durch Wärmestrahlung zu verhindern, ist die Birne in eine Silberglocke eingeschlossen. Einfallende elektrische Wellen erhitzen den dünnen Platindraht und rufen dadurch eine Widerstandsänderung im Empfängerkreise hervor, welche im Empfangstelephon wahrgenommen wird. Da diese Barretter beim Eintreffen allzu intensiver Wellen leicht durchgeschmolzen werden, ist eine Reihe solcher auf einer drehbaren Hartgummischeibe *S* befestigt, damit bei Unbrauchbarwerden des einen rasch ein Reserveapparat eingeschaltet werden könne (siehe Abb. 78). Mit dem Handgriffe *H* wird in einem solchen Falle die Scheibe *S*, welche in einem metallischen Schutzkasten *M* untergebracht ist, so weit verdreht, daß der nächste Barretter mit den Zuführungsstäben *z*, *z* in leitende Verbindung kommt.

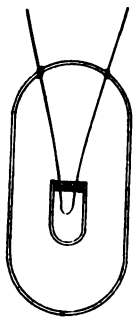


Abb. 77.

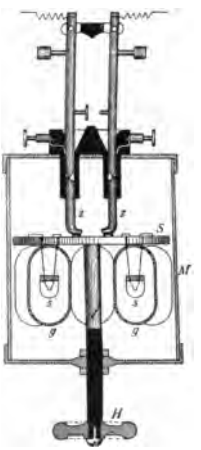


Abb. 78.

Lee De Forest und E. H. Smythe haben einen Wellenanzeiger konstruiert, welchem sie den Namen Responder beigelegt haben. Unter dem Einflusse elektrischer Wellen erhöht dieser Apparat seinen Widerstand. Er besteht (siehe Abb. 79) aus einem Röhrchen von

Digitized by Google

Hartgummi oder Glas, in welches zwei Metallelektroden von 3,2 mm Durchmesser eingelassen sind; zwischen beiden ist eine Hilfselektrode von gleichem Durchmesser eingesetzt. Die beiden Zwischenräume zwischen den drei Elektroden sind mit einer Masse ausgefüllt, welche zu gleichen Teilen aus ziemlich groben Feilspänen und Bleioxyd besteht und unter Zusatz von Glyzerin oder Vaselin und einer Spur von Wasser oder Alkohol zu einer Paste angerührt ist. Die Empfindlichkeit des Apparates ist durch eine mit einer der Elektroden verbundenen Stellschraube regulierbar.

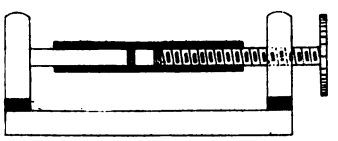


Abb. 79.

Die Erfinder stellen sich die Wirksamkeit des Responders folgendermaßen vor: Von den Metallanoden werden unter dem Einflusse der Lokalbatterie Metallteilchen losgerissen und durch das Medium zur Kathode transportiert. Unter der Mithilfe der in der Paste suspendierten Metallkörperchen bilden sich zwischen Anode und Kathode metallische Brücken, welche den Widerstand herabsetzen (siehe Abb. 80). Lagern sich nun elektrische Wellen über den Lokalstrom, so werden an der Kathode Gasbläschen frei, welche sich an den metallischen Brücken niederschlagen und sich namentlich zwischen zwei benachbarten Metallteilchen

Abb. 80.

Abb. 81.

lagern. Dadurch wird der Widerstand erhöht und die Brücken gleichsam unterbrochen (siehe Abb. 81), welche sich nach Aufhören der Wellen neu bilden. Die Steigerung des Widerstandes des Responders ist der Energie der einfallenden Wellen proportional. Der Responder spricht auf einfallende Wellen sofort an und kehrt nach deren Aufhören augenblicklich zu seinem anfänglichen Widerstande zurück, weshalb er in Verbindung mit dem Aufnahmetelephon eine raschere Zeichenübermittelung gestattet als andere Kohärer.

Der elektrolytische Wellendetektor von W. Schloemilch ist nichts anderes als eine Zersetzungszelle mit Platin- oder Goldelektroden in verdünnter Säure, von welchen die positive Elektrode jedoch eine mikroskopisch kleine Oberfläche besitzt. Wenn eine Zersetzungszelle an eine Stromquelle angeschlossen wird, deren elektromotorische Kraft die gegenelektromotorische Kraft der Zelle um wenig übertrifft, so daß durch den andauernden Zersetzungsstrom

Digitized by Google

eine sehr schwache Gasentwickelung an den Elektroden stattfindet, so bewirkt eine Bestrahlung mit elektrischen Wellen eine sofortige Stromverstärkung, was sich in reichlicherer Gasentwickelung kundgibt. Dieser Effekt läßt sich durch Verkleinerung der positiven Elektrode steigern. Der von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie gebaute Wellendetektor hat eine positive Elektrode von 0,001 mm Durchmesser und von 0,01 mm Länge. Bei diesem Detektor kann man die Einwirkung elektrischer Wellen an einer leichteren Ablösung der Gasblasen von den Elektroden wahrnehmen, welche Erscheinung bei stärkeren Wellen so deutlich wird, daß man die eintreffenden Impulse direkt beobachten kann.

Jede einzelne derartige Zelle muß durch Veränderung des Zersetzungsstromes auf das Maximum der Wellenempfindlichkeit einreguliert werden, welches einer individuellen kritischen Spannung entspricht. Die Zelle, welche in Abb. 82 ihrer äußeren Gestalt nach dargestellt ist, ist sehr konstant, unempfindlich gegen Erschütterungen, wirkt wohl bei schwächeren Impulsen relativ schwächer, versagt aber nie ganz. Auch stärkere Impulse behindern die Funktion der Zelle nicht. Diese ist in ein Schutzgehäuse aus Hartgummi eingesetzt, welches nach Einfüllung der Säure durch einen Hartgummistöpsel säuredicht abgeschlossen wird. Dieser Stöpsel besitzt jedoch eine feine Bohrung, durch welche die Säuregase entweichen können.

Abb. 82.

Abb. 83.

Reg. A. Fessenden hat in neuerer Zeit einen Flüssigkeitsbarretter in der Weise ausgeführt, daß er eine elektrolytische Flüssigkeit durch ein Diaphragma in zwei Teile trennt; in das Diaphragma ist ein sehr dünnes Loch gebohrt, zu dessen beiden Seiten die meist minimal dimensionierten Elektroden aufgestellt sind. Dieser Apparat soll ganz außerordentlich empfindlich sein; die Widerstandsänderung desselben soll unter dem Einflusse elektrischer Wellen 50 mal so groß sein als beim schon beschriebenen Hitzdrahtbarretter, und zwar findet hier eine Widerstandsverminderung statt. Dem letztgenannten Instrumente gegenüber wird als Vorteil betont, daß ein Durchbrennen nicht möglich ist, daß er gegen atmosphärische Entladungen oder benachbarte elektrische Entladungen nicht geschützt werden muß, wie dies beim Hitzdrahtbarretter durch Metallglocken geschehen muß. Fessenden führt an, daß er mit diesem Barretter eine 100 mal

Digitized by Google

größere Wirkung erreichen konnte als mit dem gewöhnlichen Kohärer, so daß die Abstimmung in viel leichterer Weise bei den Empfangsapparaten erzielt werden kann. In Abb. 83 ist ein derartiger Barretter schematisch dargestellt.

Der magnetische Detektor von Marconi, ein Apparat von mindestens ebenso großer Empfindlichkeit wie der Kohärer, aber von einer vollkommenen Regelmäßigkeit und Verläßlichkeit, beruht auf der Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften des Eisens durch elektrische Wellen. Aus den Beobachtungen Lord Rayleighs, Rutherfords, Miß Broaks u. a. ist bekannt, daß bis zur Sättigung magnetisierte, dünne Stahlstäbe einer teilweisen Entmagnetisierung unterliegen, wenn sie der Einwirkung von Strömen hoher Frequenz unterworfen sind. Rutherford hat mit Hilfe eines Apparates, welcher aus einer Stahlnadel innerhalb einer Drahtspule bestand, Wellen nachweisen können, welche von einem 1200 m entfernten Oszillator ausgingen; durch die Verminderung des Magnetismus der Nadel wurde der Magnetnadel eines nahe befindlichen Magnetometers eine Ablenkung erteilt, welche durch Spiegelbeobachtung festgestellt wurde. Auf dem Prinzipe dieses gegen Wellenimpulse wenig, dagegen gegen mechanische Einwirkungen sehr empfindlichen Apparates hat Marconi seinen magnetischen Detektor aufgebaut.

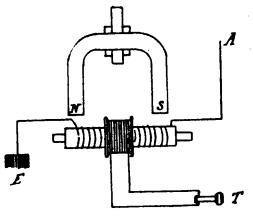


Abb. 84.

Ein Kern aus hartem Eisen oder Stahl befindet sich in einer aus einer oder zwei Lagen isolierten Kupferdrahtes bestehenden Spule (siehe Abb. 84). Die Enden dieses Drahtes stehen mit dem Luftdrahte, bezw. mit der Erde in Verbindung. Eine zweite Bewickelung von größerer Drahtlänge, welche über der ersten angeordnet ist, steht mit einem Empfangstelephon in Verbindung. Die originelle Einrichtung, welche Marconi diesem Apparate gab, besteht darin, daß der Eisenkern sich in einem magnetischen Felde befindet, welches von einem rotierenden Magnete hervorgerufen wird. Der Eisenkern unterliegt demnach magnetisierenden Kräften, welche sich unaufhörlich, aber verhältnismäßig langsam ändern. Treffen nun elektrische Wellen diesen Apparat, so wird die Magnetisierung des Eisenkernes rapid geändert, und die dadurch in der benachbarten Spule induzierten Ströme geben sich in dem Telephon durch einen sehr hellen Ton kund. Dieser Ton entsteht jedoch nur, wenn der Magnet rotiert.

Digitized by Google

Dieselbe Erscheinung konnte Marconi hervorbringen, indem er einen Magnetkern in einem ruhenden Magnetfelde bewegte. Eine derartige Ausführung zeigt Abb. 85, bei welcher ein Stahldraht wie ein endloser Riemen von zwei Rollen längs der Achse einer Spule mit zwei Bewickelungen fortbewegt wird. Die Spule liegt im Felde eines Magnetes, dessen Kraftlinien die Spule parallel zu ihrer Achse durchdringen.

Marconi hat für diese Erscheinung folgende, auf der Veränderung der zeitlichen Verzögerung der Magnetisierung beruhende Erklärung gegeben: Die Magnetisierung des Kernes folgt den Veränderungen des Feldes mit einer gewissen Verzögerung. Diese Verzögerung wird jedoch während der Einwirkung einer elektrischen Welle auf den Kern aufgehoben und die magnetische Induktion nimmt unmittelbar jenen Wert an, der dem vorhandenen Felde entspricht.

Es wurde jedoch eine andere, vielleicht bessere Erklärung versucht; ist ja die Erscheinung der Hysteresis wohl bei weichem

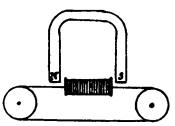


Abb. 85.

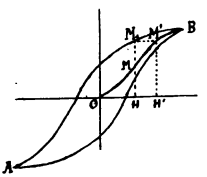


Abb. 86.

Eisen, jedoch nur in unmerklicher Weise bei hartem Eisen oder Stahl zu beobachten. Nach den Beobachtungen von Finzi, Gerosa u. a. führen Wechselströme, insbesondere solche von hoher Frequenz, eine bedeutende Verminderung der hysteretischen Wirkung hervor. Da die Hysteresis von der Änderungsgeschwindigkeit des Feldes fast unabhängig ist, so kann sie nicht als eine zeitliche Verzögerung der Induktionswirkungen betrachtet werden, wohl aber als eine Verzögerung der Lage auf der Magnetisierungskurve. Wenn das Feld abnimmt, erreicht die Induktion für einen Wert OH des Feldes (Abb. 86) den Wert M_1H, anstatt den Wert MH anzunehmen, den sie hätte, wenn es keine Hysteresis gäbe, d. h. es verhält sich so, wie wenn der Punkt M auf der ursprünglichen Magnetisierungskurve die Stellung M_1 einnähme, die Induktion aber jenen Wert, welcher der Induktion OH_1 des Feldes entspricht. Wenn der Stab der Einwirkung einer elektrischen Welle in jenem Zeitpunkte unterworfen wird, wo das Feld den Wert OH und die

Digitized by Google

Induktion den Wert $M_1 H$ besitzt, hat das Verschwinden der Hysteresis die Wirkung, daß die Induktion den Wert MH anstatt $M_1 H$ annimmt. Die Induktion unterliegt also einer plötzlichen Veränderung, welche zur Entstehung eines Induktionsstromes in der den Kern umgebenden Spule Veranlassung gibt. Es ist noch beobachtet worden, daß die Tonstärke des Telephons bei ansteigendem Magnetfelde wesentlich größer ist als bei abnehmendem.

Die Vorzüge dieses Apparates sind: Die Unveränderlichkeit des Widerstandes, welcher außerdem viel geringer ist als jener eines Kohärers, was für die abgestimmte Wellentelegraphie ein wesentlicher Vorteil ist. Außerdem soll dieser Detektor nach Marconis Angabe empfindlicher und verläßlicher sein als sein Kohärer. Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß diese Einrichtung noch Mängel aufweist, insofern die Aufnahme mittels Telephon keine dauernden Zeichen hinterläßt und die Schnelligkeit der Aufnahme keine bedeutende ist — es können nur etwa 30 Worte in der Minute übertragen werden. Schließlich ist der maschinelle Antrieb des Magnetes oder des Kernes eine einigermaßen bedenkliche Sache, welche keine gleichmäßige Wirksamkeit des Detektors zu gewährleisten scheint.

Aus den Versuchen, welche Marineleutnant Tissot mit dem magnetischen Wellendetektor angestellt hat, ist noch zu ersehen, daß bei Gleichheit der aufgenommenen Energie die stark gedämpften Wellen die wirksamsten sind, wobei die Schwingungsperiode nicht in Betracht kommt, daß ferner jene Detektoren die größte Empfindlichkeit zeigen, deren magnetischer Kreis die größte Fläche umspannt, und endlich, daß die Empfindlichkeit des Apparates am größten ist, wenn die Magnetisierungsintensität dem absoluten Werte nach abnimmt, wenngleich die Intensität des Hilfsfeldes ansteigt.

J. A. Ewing und H. L. Walter haben in neuerer Zeit einen Wellendetektor konstruiert, welcher auf der nachstehend angeführten Erscheinung beruht: Stellt man in einem rotierenden Felde eine Eisenscheibe oder besser eine Rolle aus isoliertem Stahldrahte auf, welche sich um ihre Achse drehen kann, so setzt sich die Scheibe infolge der Hysteresis in Bewegung. Hindert man die Scheibe, bezw. die Spule in ihrer Bewegung durch eine Feder, so stellt sie sich in eine von ihrer Ruhelage abweichende Stellung ein. Diese Stellung ändert sich, d. h. es tritt eine Ablenkung ein, sobald elektrische Wellen auf diese Vorrichtung treffen und dadurch die Hysteresis ändern.

Digitized by Google

Bei diesem Apparate wird ein ringförmiger, senkrecht stehender Elektromagnet oder Dauermagnet in Rotation gesetzt, in dessen Innerem eine etwa 5 cm lange Spule aus 0,061 mm starkem, mit Seide isoliertem Stahldrahte sich selbständig um eine senkrechte Achse drehen kann (siehe Abb. 87). Der Stahldraht ist bifilar auf einem Kerne aus Knochensubstanz aufgewickelt und macht etwa 500 Windungen. Die Ablenkungen können mittels Spiegel oder Skala abgelesen werden oder sie können auch dazu dienen, einen Kontakt zu schließen und damit ein Relais zu betätigen. Das Instrument kann nicht nur als Detektor, sondern auch als Instrument zur Messung der Intensität der ankommenden Wellen Verwendung finden.

Der Wellendetektor von Prof. Riccardo Arnò beruht auf folgender Beobachtung. Ein Eisenkörper, welcher so fein unterteilt ist, daß die Einwirkung durch Wirbelströme nicht in Betracht kommen kann, wird in einem nach dem Ferrarisprinzipe hergestellten, rotierenden Magnetfelde in Rotation versetzt. Diese Erscheinung ist sonach der Hysteresis allein zuzuschreiben. Arnò stellt Eisenkörper von außerordentlich feiner Unterteilung in der Weise her, daß er aus einer Paste aus Eisenpulver und Paraffin Scheiben formt. Wird ein solcher Eisenkörper in einem rotierenden Felde, und zwar innerhalb einer Spule bifilar aufgehängt, welche einerseits mit dem Luftdrahte und andererseits mit der Erde in Verbindung steht, so wird das Drehmoment, welches das rotierende Feld auf die Scheibe ausübt, vergrößert, sobald elektrische Wellen den Luftdraht treffen. Zur Herstellung eines empfindlichen Apparates ordnet Arnò (siehe Abb. 88) zwei gleiche Drehfelder, bestehend aus je drei Feldmagnetspulen, übereinander an. In jedem Felde ist eine Eisenscheibe angebracht. Die Drehfelder rotieren im oberen und im unteren Systeme in entgegengesetzter Richtung, so daß sich ihre Wirkungen auf die beiden miteinander verbundenen Scheiben aufheben. Arnò hat zur

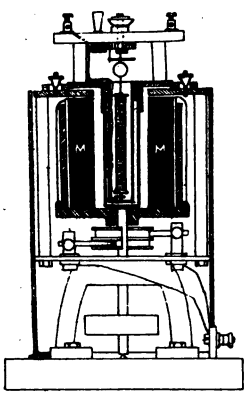


Abb. 87.

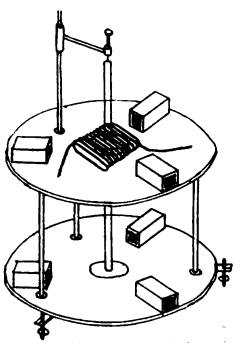


Abb. 88.

Digitized by Google

Erzeugung der Drehfelder Drehströme von 42, 12, 8, 6 und 4 Perioden in der Sekunde verwendet und in allen Fällen schon durch ganz schwache Wellen einen Ausschlag des beweglichen Systemes erhalten. Er empfiehlt diesen Apparat als Wellendetektor in der elektrischen Wellentelegraphie, sowie auch zur quantitativen Messung der Intensität elektrischer Wellen.

Der magnetische Kohärer von Turpain (siehe Abb. 89) arbeitet wie folgt. Treffen elektrische Wellen den Kohärer *K*, so wird er leitend und der Stromkreis der Batterie b_1 geschlossen, welche den Anker des Relais *R* zur Anziehung bringt und damit den Stromkreis der Spule *S*, welche in stromdurchflossenem Zustande ein Magnetfeld um den Kohärer erzeugt, und der Batterie b_2 unterbricht; ferner wird der Stromkreis des Elektromagneten *E* und der nun hintereinander geschalteten Batterien b_2 und b_3 geschlossen. Der Elektromagnet *E* zieht nun die Eisenfassung *f* des um eine Horizontalachse drehbaren Kohärers an, wobei einerseits der an der Eisenfassung befestigte Kontakthebel *h* vom Kontaktpunkte *1* nach *2* umgelegt wird und andererseits der Kohärer durch die beim Anschlage des Hebels erfolgende Erschütterung in den nichtleitenden Zustand überführt wird. Dabei wird durch die Batterien b_1 und b_4 der Telegraphenapparat *T* erregt und gleichzeitig der Strom im Kreise des Relais *R* und der Batterie b_1 unterbrochen. Demzufolge kehrt der Anker des Relais in seine Ruhelage zurück und schließt den Kreis der Spule *S* und der Batterie b_2; dabei wird der Stromkreis der Batterie b_3 unterbrochen und es geht der Kohärer in seine Anfangslage zurück. Das System hat seinen Normalzustand wieder eingenommen. Falls die Wellen noch weiter andauern, wiederholt sich die angegebene Reihenfolge der Bewegungen, wobei die Schwingungen des Kohärers so rasch erfolgen, daß ihnen der Anker des Telegraphenapparates nicht folgen kann, sondern ein zusammenhängendes Zeichen gibt.

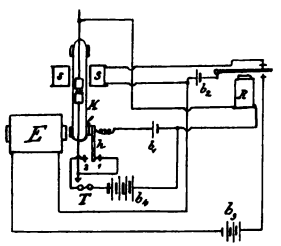


Abb. 89.

Um bei denjenigen Kohärern, welche nicht spontan zu ihrem Anfangswiderstande zurückkehren, die Leitfähigkeit zu zerstören, verwendet Lodge ein Uhrwerk, dagegen Popoff, Marconi, Ducretet u. a. den elektrischen Klopfer. Die Erschütterung, welche der Kohärer von diesem erleidet, muß eine gewisse Stärke besitzen, um wirksam

Digitized by Google

zu sein, sie darf jedoch nicht allzu stark sein, da sonst die Empfindlichkeit des Kohärers nachteilig beeinflußt würde. Bei der Einrichtung Marconis trifft der Hammer die Röhre, während er von dem Elektromagnete angezogen wird, dagegen bei Popoff und Ducretet erst im Verlaufe der Rückwärtsbewegung. Bei den Einrichtungen nach der Art Marconis müssen daher eigene Vorrichtungen angebracht werden, welche verhindern sollen, daß durch den beim Klopfer auftretenden Unterbrechungsfunken die eben aufgehobene Leitfähigkeit wiederhergestellt werde.

Um diesen Umstand zu vermeiden, sind von vielen Erfindern verschiedene Vorschläge gemacht worden, welche jedoch wenig praktischen Erfolg aufzuweisen hatten. Nur die magnetische Zerstörung der Leitfähigkeit verdient einer besonderen

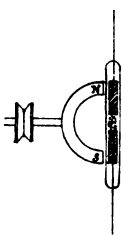


Abb. 90.

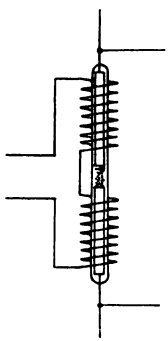


Abb. 91.

Erwähnung. Die erste Anregung hierzu haben Lodge und Muirhead bereits im Jahre 1897 gegeben.

A. Brown stellt den ursprünglichen Widerstand des Kohärers durch die Rotation eines permanenten Magnetes *N*—*S* (siehe Abb. 90) wieder her. Der Kohärer hat Eisenelektroden und Nickelspäne. Auch in anderer Art zerstört Brown die durch elektrische Wellen hervorgerufene Leitfähigkeit des Kohärers, nämlich mittels einer wechselstromdurchflossenen Drahtspule, welche diesen umgibt (siehe Abb. 91). Da bei diesen Systemen die Aufhebung der Leitfähigkeit kontinuierlich erfolgt, muß die Intensität des durch den Magnet oder die Spule erzeugten Feldes einen bestimmten Wert haben, der durch die jeweiligen Verhältnisse jedes einzelnen Kohärers bestimmt wird.

Armstrong und Orling rufen den ursprüglichen Widerstand bei einer ihrer Kohärerkonstruktionen, bei welcher Stahlkugeln in einer horizontalen Röhre aus Isolationsmaterial die Stelle der Späne

Digitized by Google

vertreten, durch die Einwirkung zweier Elektromagnete hervor. Diese besitzen ihre Pole oberhalb, bezw. unterhalb der Röhre und werden durch einen besonderen elektrischen Strom erregt, welcher jeweilig geschlossen wird, wenn das im Kohärerstromkreise eingeschaltete Relais seinen Anker anzieht.

Bei den Apparaten mit magnetischer Regulierung der Empfindlichkeit oder mit magnetischer Zerstörung der Leitfähigkeit macht sich bei längerer Verwendung der Übelstand des remanenten Magnetismus mehr oder weniger geltend, welchem jedoch durch Erneuerung der Späne oder Kugeln begegnet werden kann.

d) Erreger und Antennen.

Marconi hatte bei seinen ersten Versuchen Oszillatoren verwendet, bei welchen der aktive Funke in Paraffinöl übersprang. Andere Experimentatoren verwendeten statt dessen Petroleum oder andere Öle, doch hat man bald die Verwendung von Ölen verlassen, weil die elektrolytischen Zersetzungsprodukte entweder Kurzschlüsse zwischen den Elektroden bilden oder, wenn sie gasförmig sind, die Regelmäßigkeit der Entladungen stören. Man benützt daher fast allgemein als Oszillatoren die einfache Form zweier Kugeln, wie sie bei dem Funkeninduktor vorkommt.

Man hat auch statt zweier Kugeln deren vier angewendet, wie beim schon erwähnten Dreifunkenerreger von Righi (siehe Abb. 49). Es muß jedoch besonders hervorgehoben werden, daß die beiden äußeren Funken eine Wellenbildung nicht hervorrufen, was leicht nachzuweisen ist. Nähert man nämlich die beiden mittleren Kugeln bis zur Berührung, so verschwindet jede Spur von Wellen.

Wenn man von Nachrichtenübermittelungen auf ganz kurze Entfernungen absieht, bei denen das Vorhandensein einer Antenne nicht notwendig ist, so muß diese im allgemeinen als sehr notwendiger Bestandteil sowohl der Sende- als der Empfangseinrichtung bezeichnet werden. Erstens wächst, wie bereits erörtert, mit zunehmender Länge der Antenne auch die Wellenlänge und damit auch deren Beugungsfähigkeit. Man nimmt also an, daß Wellen, welche von Systemen mit längerer Antenne ausgehen, Hindernisse leichter umgehen können. Hauptsächlich ist es jedoch die größere Kapazität der Schwingungssysteme mit Antenne, welche es ermöglicht, größere Energiemengen zur Schwingung und Ausstrahlung zu bringen und daher eine größere Reichweite der Apparate begründet. Als man dies erkannt hatte, suchte man die Kapazität der Senderantenne

Digitized by Google

möglichst zu erhöhen, ohne dabei die Wellenlänge zu verändern. Zu diesem Behufe ersetzte man den einen Antennendraht durch mehrere, parallel geführte Drähte, indem man von der Erfahrung ausging, daß zwei parallel geführte Drähte näherungsweise die

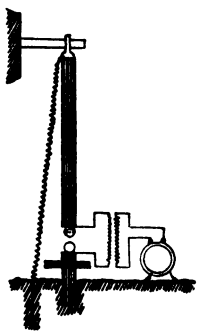


Abb. 92.

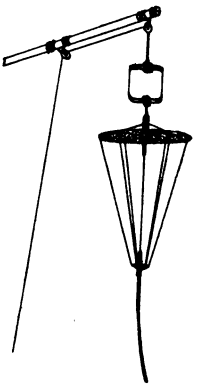


Abb. 93.

doppelte Kapazität und die halbe Selbstinduktion haben wie ein einzelner Draht gleichen Querschnittes und gleicher Länge.

So entstanden die sogenannten Käfigantennen. Jene von Slaby (siehe Abb. 92) enthält mehrere parallel in der Mantelfläche eines

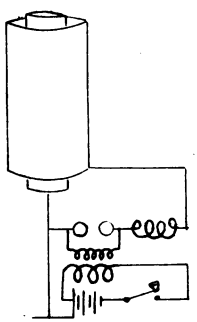


Abb. 94.

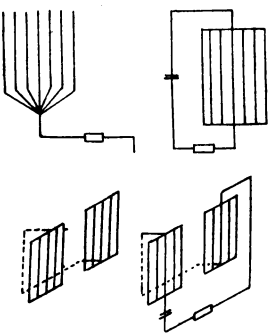


Abb. 95.

Zylinders verlaufende Drähte. Nach Ducretet wird eine Anzahl von Drähten in der Mantelfläche eines sich nach unten zu verjüngenden Kegels angeordnet (siehe Abb. 93). Die Wireless Telegraph and Signal Company verwendet zwei konzentrische Blechzylinder als Antennen (siehe Abb. 94).

Hierher gehören auch die von F. Braun angegebenen Gitterantennen, deren einige in Abb. 95 dargestellt sind.

Digitized by Google

Von Guarini ist eine Antenne vorgeschlagen worden, welche aus einem Drahtseil besteht, das durch eine isolierende Zwischenlage von einer Blechhülle getrennt ist. In die letztere, welche zur Erde abgeleitet ist, ist ein Längsschlitz eingeschnitten, durch welchen allein im Bereiche eines kleinen Raumwinkels Wellen austreten sollen. Durch die Anwendung einer gleichen Antenne bei der Empfangsstation soll erreicht werden, daß nur diese beiden Stationen sich gegenseitig verständigen können, andere Stationen jedoch nur dann beeinflußt werden, wenn sie sich zufällig in diesem Winkel befinden. Es ist jedoch keineswegs anzunehmen, daß eine derartige Antenne wirklich den angestrebten Zweck erfüllen wird.

Im Anfange der Entwickelung der Wellentelegraphie war sowohl die Antenne der Sendestation, als auch jene der Empfangsstation mit einem Erdanschlusse versehen. Aus den Versuchen von Ferrié läßt sich ableiten, daß sich der Erdanschluß der Antenne durch die Verdoppelung der Antennenlänge ersetzen lasse. Guarini hat die Behauptung aufgestellt, daß nur bei der Sendestation der Erdanschluß der Antenne von Nutzen wäre, weil dadurch das Potential der mit der Antenne verbundenen Oszillatorkugel gesteigert und am Ende des Luftdrahtes eine Maximalintensität der elektrischen Schwingung hervorgerufen werde; bei der Empfangsstation dagegen wäre die Erdverbindung deshalb von Nachteil, weil der Kohärer an einem Punkte maximaler Schwingung angebracht werden müsse, um auch auf die schwächsten Wellenimpulse zu reagieren, dies wäre jedoch unmöglich, wenn die Antenne an die Erde angeschlossen ist, da letztere wie ein großer Kondensator wirkt. Guarini übersah hier, daß nicht die Höhe der Spannung, sondern die Potentialdifferenz zwischen beiden Elektroden des Kohärers für dessen Beeinflussung maßgebend ist. Die Potentialdifferenz ist aber am Erdungspunkte der Antenne am größten.

Abänderungen und Verbesserungen der ersten Zeit.

Die Wireless Telegraph and Signal Company hat die direkte Verbindung des Kohärers mit der Antenne bald verlassen und dafür einen selbständigen Kohärerstromkreis geschaffen, welcher von der Antenne induktiv erregt wird. In Abb. 96 ist diese Schaltung skizziert. Die Antenne A steht über die Primärwickelung P eines Transformators mit der Erde in Verbindung. Die von ankommenden Wellen in der Antenne hervorgebrachten Schwingungen induzieren in dem Kreise der Sekundärwickelung S des Transformators Wechsel-

Digitized by Google

ströme, welche sich über den Kondensator C ausgleichen und dabei den Kohärer K leitend machen. Die beiden Drosselspulen D sollen die schnellwechselnden Ströme hindern, zum Relais R zu gelangen, während sie den Strom der Batterie B durchlassen. Eine andere Schaltung, welche von der vorliegenden nur dadurch abweicht, daß Kondensator und Kohärer ihren Platz getauscht haben, soll sich minder gut bewährt haben.

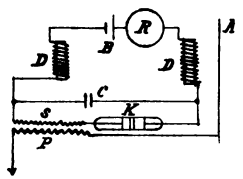


Abb. 96.

Marconi schreibt diesen Anordnungen zwei Vorteile zu: Erstens werden die von atmosphärischen Störungen herrührenden Gefahren durch die blitzableiterartige Wirkung der geerdeten Antenne beseitigt und zweitens kann die Empfindlichkeit des Empfängers gesteigert

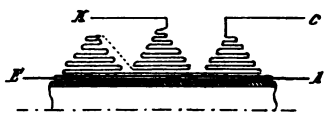


Abb. 97.

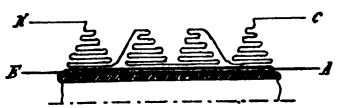


Abb. 98.

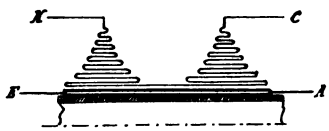


Abb. 99.

Abb. 100.

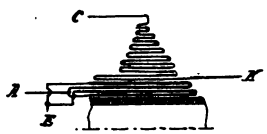


Abb. 101.

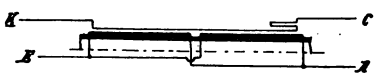


Abb. 102.

werden, wenn man durch den Transformator die Spannung der Schwingungen steigert. Zu dem beabsichtigten Zwecke eignen sich jedoch nur Transformatoren bestimmter Konstruktion. Marconi hat eine ganze Reihe solcher Transformatoren konstruiert, welche er mit dem Namen „jigger“ belegt hat. Diejenigen Konstruktionen, welche sich gut bewährt haben, sind in den nachstehenden Abbildungen 97—104 schematisch im Durchschnitte zur Hälfte dargestellt. In diesen Darstellungen bedeuten die Zickzacklinien Windungslagen; die dickeren Linien stellen die Primärwindungen vor. All

Digitized by Google

diese jigger sind von sehr kleinen Dimensionen (etwa 2—6 cm lang) und durch Aufwickelung von isoliertem Drahte auf Glasröhren hergestellt. Wie diese Apparate eingeschaltet werden, deuten die beigesetzten Buchstaben an; es bedeutet *A* Antennenanschluß, *E* Erdanschluß, *K* Kondensator- und *C* Kohäreranschluß. Primär- und Sekundärwickelung bestehen beide aus 1—1,2 mm dickem, seiden-

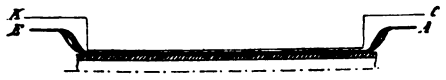


Abb. 103.

Abb. 104.

isoliertem Drahte; die erstere hat höchstens 4, die letztere höchstens 16 Windungslagen. Der besonderen Art dieser Konstruktion legt Marconi die Wirkung bei, daß an den Enden der Spulen die elektromagnetische Induktion der elektrostatischen nicht entgegenwirken kann. Er führt als Beleg für den Wert der jigger die Tatsache an, daß während der englischen Seemanöver im Jahre 1899 sich die Kreuzer „Juno" und „Europa" mit dem Transformator bis auf etwa 100 km verständigen konnten, während dies ohne jigger kaum über 11 km möglich war.

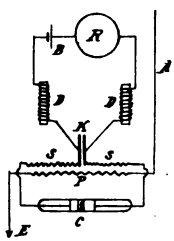


Abb. 105.

Die Wireless Telegraph and Signal Company hat jedoch später diese Konstruktion in der Weise abgeändert, daß die Sekundärwickelung des jigger in zwei Teile zerlegt wurde, wie Abb. 105 andeutet. Dabei sind die äußeren Spulenenden mit dem Kohärer in Verbindung gesetzt, während die inneren Enden zu einem Kondensator führen, zu dem der Lokalkreis der Batterie, des Relais und zweier Drosselspulen einen Nebenschluß bildet. In den Abb. 106

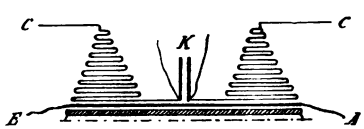


Abb. 106.

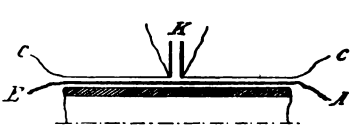


Abb. 107.

und 107 sind die Hälften der hier benützten jigger im Durchschnitte dargestellt. Die Darstellung und die Buchstabenbezeichnung sind dieselben wie in den früheren Abbildungen.

Im allgemeinen werden gewöhnliche Telegraphenrelais zur Übertragung der einlangenden Zeichen auf den Schreibapparat verwendet; sie müssen jedoch sehr empfindlich sein, weil die Kohärer, in deren

Digitized by Google

Stromkreis sie eingeschaltet sind, ohne Schaden zu erleiden, nur sehr schwache Ströme vertragen. Vornehmlich benützt man daher polarisierte Relais oder solche mit beweglichem Stromkreise. Die letzteren bestehen aus einer in einem magnetischen Felde drehbar gelagerten Drahtspule. Wird diese von einem Strome durchflossen, so erleidet sie zufolge Einwirkung des Magnetfeldes eine Ablenkung und schließt durch einen Kontakt den Schreibapparatstromkreis.

Als man in den erreichten Grenzen der Übertragung der wellentelegraphischen Mitteilungen noch nicht sehr weit gekommen war, insbesondere als man erkannt hatte, daß die Signalgebung über Festlandsstrecken von geringerem Erfolge begleitet sei als über die See, versuchte man durch Errichtung automatischer Übertragungsstationen diesem Übelstande abzuhelfen. Das Prinzip, auf dem diese

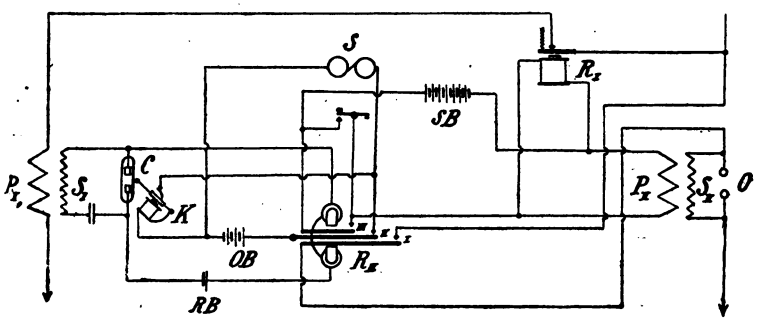


Abb. 108.

Apparate aufgebaut sind, besteht darin, daß die beim Übertrager einfallenden Wellen den Kohärer leitend machen, wodurch ein Relais betätigt und dadurch der Primärstromkreis eines Induktionsapparates geschlossen wird, so daß eine neue Wellenemission stattfindet. Es ist jedoch klar, daß die vom Wiederholer ausgehenden Wellenimpulse nicht nur die Bestimmungsstation der Mitteilung oder die nächste Übertragungsstation, sondern auch die Ursprungsstation des Telegrammes beeinflussen und so eine störende Rückwirkung auf die von der Sendestation weiterhin ausgehenden Zeichen ausüben werden.

Einer der zu diesem Behufe konstruierten Apparate ist der Übertrager von Guarini. Seine Schaltung soll an der Hand der vorstehenden Abb. 108 verfolgt werden.

Treffen elektrische Strahlen die Antenne, welche bei normalem Zustande des Apparates keine Verbindung mit dem Oszillator *O*

Digitized by Google

hat, so entstehen in der Antenne Schwingungen, welche sich über den Kontaktpunkt des Hebels des Relais R_I und die Primärspule P_I bis zum linken Erdanschlusse erstrecken. Hiedurch werden auch Schwingungen in dem Stromkreise der Sekundärspule S_I, in welchem der Kohärer C liegt, erregt, wodurch dieser leitungsfähig wird. Sonach wird ein Strom von der Relaisbatterie RB über den Kohärer C und die Spulen des Relaiselektromagnetes R_{II} fließen, der den Relaisanker anzieht und alle drei Kontakthebel dieses Ankers gleichzeitig in einem der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzten Sinne verdreht. Dies hat zur Folge, daß erstens der Kontakt I, der die Antenne mit dem Oszillator verbindet, geschlossen wird, zweitens der Kontakt II, welcher den Schluß der Schreibapparatbatterie OB in geteiltem Stromkreise, teils über den Schreibapparat S und teils über den Klopfer K bewirkt, hergestellt wird und endlich drittens der Strom der Senderbatterie SB über den Kontakt III zustande kommt, der sich in zwei Stromkreise, nämlich jenen des Relais R_I und jenen der Primärspule des Sendeapparates P_{II} teilt. Demnach wird sowohl der Schreibapparat S, dessen Arbeit durch Benützung eines einfachen Unterbrechers im Bedarfsfalle aufgehoben werden kann, sowie der Klopfer K in Tätigkeit gesetzt, damit der Kohärer C seine Leitungsfähigkeit verliert und zur Aufnahme eines neuen Zeichens bereit gemacht werde. Der Schluß der Senderbatterie SB bewirkt in der Primärspule P_{II} des Sendeapparates Schwingungen, die über die Sekundärspule S_{II}, den Oszillator O, den Kontakt I und die Antenne die Aussendung von elektrischen Strahlen hervorrufen, gleichzeitig aber wird der Kontakt des Relais R_I unterbrochen, so daß eine Rückwirkung der Schwingungen auf den Kohärer vermieden bleibt. Da also eine weitere Beeinflussung des Kohärers, der seine Leitungsfähigkeit schon eingebüßt hat, nicht eintreten kann, so werden die mit geringer Intensität die Antenne erreichenden Strahlen, mit neuer Kraft ausgestattet, nun wieder einen neuen Weg in der Atmosphäre durchlaufen und in gleicher Weise entweder einen Empfangsapparat oder neuerdings einen Wiederholungsapparat betätigen können.

Mit dem Aufhören der ankommenden Wellen hört natürlich der Schluß der Batterie RB auf, und da der Klopfer den Kohärer bereits wieder aufnahmefähig, d. h. nichtleitend gemacht hat, so hat die Einrichtung den ursprünglichen Zustand wieder angenommen, der die Übertragung der neu ankommenden Zeichen ermöglicht. Erwähnt sei noch, daß man unter Verwendung eines einfachen

Digitized by Google

Stöpselumschalters den Apparat entweder als einfachen Empfänger oder als einfachen Wiederholer oder endlich in vereinigter Wirksamkeit, als Empfänger und Wiederholer, verwenden kann.

Mit diesem Apparate haben Guarini und Poncelet im März 1901 zwischen Brüssel, Mecheln und Antwerpen Versuche angestellt, welche nach Poncelets Berichte einen durchschlagenden Erfolg zu verzeichnen hatten, was aber auf Grund dieses Berichtes vielfach bezweifelt wird. Über eine Wiederholung dieser Versuche ist nichts bekannt geworden.

Syntonische und mehrfache Wellentelegraphie.

Nach dem bisher Gesagten ist klar, daß eine Verständigung zwischen zwei entfernten Orten mittels Wellentelegraphie möglich ist, mögen auch die Apparate noch nicht allen Ansprüchen genügen. Sobald jedoch dieses Verkehrsmittel über die ersten Versuche hinaus auf den Boden der praktischen Anwendung getreten war, zeigten sich bedeutende Schwierigkeiten. Je größer die Anzahl der errichteten Telegraphenstationen wird, um so schwieriger wird eine sichere und sekrete Verständigung. Je größer die Zahl der Stationen ist, um so dichter stehen sie beisammen und um so sicherer muß man damit rechnen, daß sie in ihrem gegenseitigen Wirkungsbereiche liegen. Da die im Gebrauche stehenden, empfindlichen Wellenindikatoren auf jeden elektrischen Wellenimpuls ansprechen, mag dieser was immer für eine Periode besitzen, so ist leicht einzusehen, daß eine Empfangsstation die Mitteilungen aller jener Telegraphenstationen wird aufnehmen können, in deren Wirkungssphäre sie sich befindet, mögen sie für sie bestimmt sein oder nicht.

Aus diesem Grunde stellte man sich bald die Aufgabe, die Einrichtungen so zu gestalten, daß die ausgesendeten Wellen einzig und allein die Apparate der bestimmten Empfangsstation beeinflussen können. Diese Aufgabe hat bis heute noch keine vollständig befriedigende Lösung gefunden. Deshalb müssen wenigstens die wichtigeren Versuche in dieser Richtung verzeichnet werden.

Tommasi, welcher die Anschauung hatte, daß der Wirkungsbereich einer Sendestation mit der Länge des Erregerfunkens in einem gewissen Proportionalitätsverhältnisse stehe, bringt in der Sendestation zwei Oszillatoren mit verschiedener Funkenlänge an. Während mittels der längeren Funkenstrecke die die Mitteilung übermittelnden Wellen erzeugt werden, läßt man von der kürzeren Funkenstrecke Wellen in unregelmäßiger Folge ausgehen. Alle Empfangsstationen, welche im Wirkungsbereiche des Oszillators

Digitized by Google

kleinerer Funkenlänge gelegen sind, würden nach der Anschauung des Erfinders die unregelmäßig eintreffenden Zeichen nicht entziffern können; dagegen würde die Bestimmungsstation, welche außer dem Bereiche des kleineren Oszillators liegt, nicht beeinflußt werden. Dies kann nicht einmal näherungsweise als eine Lösung des Problemes angesehen werden, da man inzwischen ganz einfache Mittel gefunden hat, derartige, sogar von der Wireless Telegraph and Signal Company in Poldhu ausgesendete Störungswellen durch Dämpfungsspulen von dem eigentlichen Empfangsapparate fernzuhalten.

Jégou glaubte eine Lösung zu finden, indem er jeder Empfangsstation zwei Antennen von verschiedener Länge gab, in der Voraussetzung, daß die längere Antenne Nachrichten aus größerer Entfernung aufnehmen könne. Jede Antenne war mit je einem Kohärer und einem Transformator in Verbindung. Beide Transformatoren wirkten in entgegengesetzter Richtung auf einen Stromkreis, der demzufolge nur dann beeinflußt werden konnte, wenn die längere Antenne allein Zeichen aufnahm. Wenn auch die Richtigkeit dieser Annahmen nicht zugegeben werden kann, so würde selbst für den Fall der Richtigkeit eine Lösung der Aufgabe hierin nicht gefunden werden können, da nähere Stationen die kürzeren Wellen abhalten, ferner gelegene Stationen jedoch die Mitteilungen ungehindert aufnehmen könnten.

Auf der Tatsache fußend, daß die von gewöhnlichen Oszillatoren ausgehenden Wellen wegen ihrer raschen Dämpfung wie ein einziger Impuls angesehen werden können, bringt Blondel die zeitliche Aufeinanderfolge dieser Impulse mit dem Rhythmus des Empfangsapparates in Übereinstimmung. Zu diesem Behufe muß bei der Sendestation ein Unterbrecher von hoher Periode und vollkommen konstanter Wirkungsweise verwendet werden. In der Empfangsstation muß ein Apparat, der nur auf eine bestimmte Frequenz anspricht, z. B. eine Stimmgabel, angebracht werden, welcher daher nur jene eintreffenden Impulse auf den eigentlichen Empfangsapparat überträgt, welche seine Eigenfrequenz besitzen. Unüberwindliche praktische Schwierigkeiten ließen dieses System nicht zur Ausführung gelangen.

Cohen und Cole wollten mit Hilfe des sogenannten Selektors eine Anzahl von Sendeapparaten der Reihe nach auf kurze Zeiträume mit der Antenne in Verbindung bringen. In gleicher Weise sollte bei der Empfangsstation ein synchron laufender Selektor die Empfangsantenne der Reihe nach mit den zugehörigen Empfangs-

Digitized by Google

apparaten in Verbindung setzen und auf diese Weise eine Vielfachtelegraphie ermöglichen. Die Durchführung dieser Einrichtung scheiterte an dem Umstande, daß die eintreffenden Wellen alle Empfangsapparate gleichzeitig mehr oder weniger beeinflußten. Es ist ja einleuchtend, daß die geringen Luftabstände zwischen den geöffneten Kontaktpunkten des Selektors kein Hindernis für den Übergang der Wellen auf die nicht angeschlossenen Empfangsapparate bilden.

Walter ersetzt jeden einzelnen Wellenimpuls durch eine bestimmte Anzahl solcher Impulse, welche in bestimmt gewählten Zeiträumen aufeinanderfolgen. Bei der Sende- und bei der Empfangsstation sind Scheiben angebracht, welche in sehr rasche, synchrone Rotation kommen, wenn ihre Hemmung beseitigt wird. Dies geschieht bei der Sendestation durch einen Tasterdruck, bei der Empfangsstation hingegen durch den ersten einlangenden Wellenimpuls. Bei der Rotation stellt die Sendescheibe vermittels einiger auf dem Umfange verteilter Kontakte den Schluß des Stromes des Induktionsapparates her und bewirkt so die Entsendung der Wellenimpulse; bei der Empfangsscheibe wird hierbei zu denselben Zeitpunkten immer der Kohärerstromkreis geschlossen. Die Betätigung des Registrierapparates kann nur dann erfolgen, wenn die Leitfähigkeit des Kohärers zu diesen Zeitpunkten eintritt und die ganze Serie der Wellenimpulse eingetroffen ist. Im Prinzipe ermöglicht diese Einrichtung eine unabhängige Verständigung zugehöriger Apparate, jedoch ist sie so kompliziert und erfordert ein Zusammenarbeiten mannigfacher Teile, daß eine störungsfreie Funktion kaum angenommen werden kann.

Auf demselben Prinzipe der mechanischen Übereinstimmung zwischen den Sende- und Empfangsapparaten beruht auch das System der Vielfachtelegraphie von Bull. Auch hier wird jedes Zeichen durch eine Reihe von Wellenimpulsen übermittelt. Ein Druck auf den Telegraphentaster der Sendestation bewirkt die Durchlochung eines mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegten Papierstreifens, welcher zwischen einer Reihe von Metallfedern und einer metallischen Unterlage hindurchgeführt wird. So oft eine Durchlochung des Streifens eine Berührung zwischen einer Feder und der Unterlage gestattet, wird durch Vermittelung eines Relais der Stromkreis der Ladebatterie geschlossen und die Entsendung eines Wellenimpulses veranlaßt. In der Empfangsstation löst jeder Impuls durch Leitendwerden des Kohärers einen Lochapparat aus,

Digitized by Google

welcher demnach soviel Löcher in einen mit konstanter Geschwindigkeit laufenden Papierstreifen stanzt, als Wellenemissionen von der Sendestation ausgegangen sind. Der Papierstreifen wird durch ein Kontaktsystem geführt, welches ebensoviel Federn und Metallunterlagen besitzt wie die Sendestation. Diese Kontakte befinden sich jedoch nicht in Parallel-, sondern in Hintereinanderschaltung, so daß nur dann ein Schluß des Lokalstromkreises bewirkt wird, wenn sich die Löcher im Streifen gleichzeitig zwischen Feder und Unterlage befinden. Stattet man verschiedene Paare von zugehörigen Sende- und Empfangsstationen mit einer verschiedenen Anzahl von Federkontakten aus, welche sich überdies in verschiedenem Abstande befinden, so wird dadurch ein gleichzeitiges, störungsfreies Arbeiten mehrerer Apparatpaare ermöglicht. Doch ist die Anzahl solcher Paare beschränkt, weil mit der Zahl der Apparate auch die für ein Zeichen verwendete Emissionszahl wachsen muß. Dadurch wird aber die Übermittelungsgeschwindigkeit wesentlich verringert.

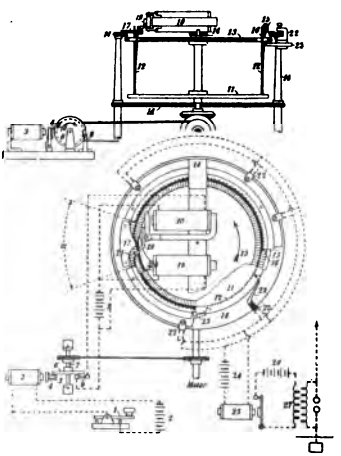


Abb. 109.

Die Apparate von Anders Bull sind seither in etwas abgeänderter Form zur Ausführung gelangt. Als Anzahl der für jedes Zeichen nötigen Impulse wurde fünf gewählt. An der Hand der Abb. 109 soll die Wirkungsweise des Senders beschrieben werden. Wird der Morsetaster *1* niedergedrückt, so erregt die Batterie 2 den Elektromagnet *3*, dessen Anker mit einer Hemmung *4* für den Ansatz *5* der Scheibe *6* versehen ist. Diese ruht lose auf der Achse *7*, welche, durch einen Motor angetrieben, sich etwa fünfmal in der Sekunde umdreht. Die Reibung zwischen Achse und Scheibe ist so groß, daß letztere, sobald ihre Hemmung abgezogen ist, die Rotation der Achse mitmacht. Bei jeder Umdrehung schließt der Ansatz *5* den Federkontakt *8* und daher auch die Batterie *9*, welche für die kurze Zeit des Stromschlusses den am Rahmen des Verteilers angebrachten Elektromagnet *10* erregt. Wird der Taster nur kurze Zeit, zur Entsendung eines Punktes, niedergedrückt, so legt sich der Haken *4* bereits nach einer Umdrehung der Scheibe *6* vor den Ansatz *5*

Digitized by Google

und es kommt nur ein Stromstoß in den Elektromagnet *10*. Wird aber der Taster zum Zwecke der Abgabe eines Striches länger gedrückt, so gelangt in den Elektromagnet eine Reihe solcher Stromimpulse, welche in Zwischenräumen von je $^1/_5$ Sekunde aufeinanderfolgen.

Der Verteiler besteht aus einer Scheibe *11*, an deren Umfange eine große Zahl von Stahlblattfedern *12* vertikalstehend angebracht ist. Die oberen, freien Enden der Federn treten durch Ausschnitte einer zweiten Scheibe *13*, so daß sie nur in radialer Richtung bewegt werden können. Beide Scheiben besitzen eine gemeinsame Achse, um welche sie sich innerhalb des Rahmens *14* mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 Umdrehungen in der Sekunde drehen. Der Rahmen ist mit dem Ringe *15* verbunden, welcher als Führung für die Federenden dient. Diese müssen entweder längs der Innenseite des Ringes oder in der von ihm gebildeten ∩-förmigen Rinne *16* laufen. Der Ring ist in einem dem Winkel α entsprechenden Stücke ausgeschnitten. Dort ist ein Bronzestück *17* eingesetzt, das die Federenden gegen die Pole des durch die Batterie *9* dauernd erregten Elektromagnetes *18* drückt. Ist der Elektromagnet *10* nicht erregt und befindet sich demnach der Finger *19*, der an dessen Anker befestigt ist, in der Normallage, so werden die Federn von dem Elektromagnete angezogen und solange in dieser Lage gehalten, bis sie an der Schneide *20* bei ihrer Rotation vorbeigegangen sind. Dann schleifen die Federn an der Innenfläche des Ringes weiter. Ist jedoch der Anker des Elektromagnetes *10* angezogen, so tritt der Finger *19* vor den Pol des Elektromagnetes *18* und die Federn, welche über diesen Finger gleiten müssen, werden durch ihn in die ∩-förmige Rinne geleitet, woselbst sie während einer Umdrehung der Scheiben gleiten müssen.

An dem Umfange des Verteilers ist eine Reihe von Kontakten *22* (im vorliegenden Falle fünf) befestigt, welche aus zwei voneinander isolierten Federn bestehen und in gewählten Abständen voneinander an den Rahmen angeschraubt werden. Diese Kontakte werden nur dann geschlossen, wenn sie von in der Rinne *16* gleitenden Federn getroffen werden. Wird also durch einen Impuls der Elektromagnet *10* erregt, so wird dadurch eine Feder in die Rinne *16* geleitet, diese Feder schließt der Reihe nach die fünf Kontakte *22* und bewirkt so eine fünfmalige Betätigung des Erreger- oder Stromschlußelektromagnetes *25* durch die Batterie *24*. Dessen Anker wird fünfmal angezogen und der Strom der Batterie *26* durchfließt die Primärwickelung des

Digitized by Google

Induktors *27*. Jeder unmittelbar folgenden Unterbrechung des Induktorstromkreises folgt die Entsendung eines Wellenimpulses. Die Zeitfolge dieser Impulse ist durch den Abstand der Kontakte *22* voneinander bestimmt.

Jeder Wellenimpuls, welcher die Antenne *23* der Empfangsstation (siehe Abb. 110) trifft, macht den Kohärer *29* leitungsfähig und das Relais *30* wird tätig. Letzteres schließt den Stromkreis des Klopfers *31*, so daß durch dessen Wirkung der Kohärer in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt. Zugleich aber wird auch der Sammelelektromagnet *32*, welcher im Nebenschlusse zum Klopfer liegt, mit Strom versehen.

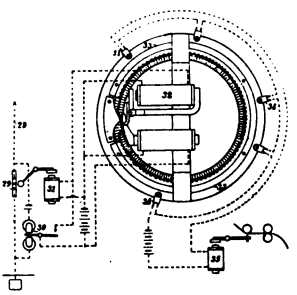


Abb. 110.

Der Kollektor des Sammlers entspricht in seiner Einrichtung genau dem Verteiler; es wird bei jedem eintreffenden Impulse eine Blattfeder in die ∩-förmige Rinne geführt. Da nun durch einmaliges, kurzes Drücken des Tasters fünf Wellenimpulse entsandt werden und die Scheiben des Verteilers und Sammlers in synchroner Rotation gehalten werden, so werden fünf Federn des Sammlers, welche den Abständen der Kontakte *22* entsprechen, in die Rinne gebracht. An dem Rahmen des Empfängers sind nun gleichfalls fünf Federkontakte in denselben Abständen wie beim Sender angebracht, daher treffen die in die Rinne abgeleiteten fünf Federn diese Kontakte gleichzeitig. Da diese fünf Kontakte *34* sich mit einer Batterie und dem Elektromagnete *35* eines Morseschreibapparates in Serienschaltung befinden, so ergeben die fünf Stromimpulse nur einen Punkt am Empfangsapparate. In anderer Zeitfolge entsendete Wellenimpulse vermögen den Empfangsapparat nicht zu betätigen.

In Abb. 111 ist das Instrumentarium dieser Einrichtung dargestellt. Der Verteiler und der Sammler sind hier zu einem Apparate *A* vereint, dessen Rotation durch einen kleinen Elektromotor *B* hervorgebracht wird. Die Geschwindigkeit des letzteren wird durch einen Bremsregulator, Siemens & Halske, Type C, reguliert. An der Verteiler-Sammler-Scheibe sind 400 Stahlfedern angebracht. *D* stellt das in Abb. 109 mit *3* bezeichnete Relais mit der Scheibe *6* dar und *E* ist ein Relais, das zufolge seiner leichten Armatur und

Digitized by Google

der Unterteilung seines Eisenkernes bei einem Strome von 0,1 Milliampère noch verläßlich arbeitet.

Bei den ersten Versuchen, welche wegen der Kleinheit des vorhandenen Induktors nur auf 300 m Entfernung erstreckt wurden, ergab sich eine Übermittelungsgeschwindigkeit von 50 Zeichen in der Minute; damit ist also der Vorwurf einer allzu langsamen Übermittelung wohl widerlegt.

Um das Mitlesen der entsendeten Telegramme seitens anderer Stationen zu verhindern, schlägt Bull zwei Wege ein. Entweder ist der Zeitabstand zwischen den einzelnen Impulsen einer Gruppe größer

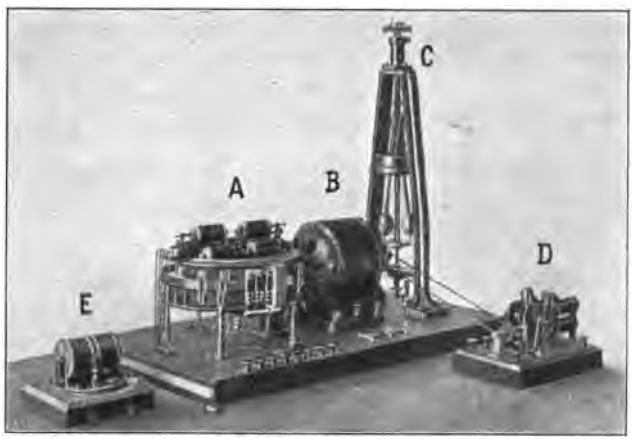


Abb. 111.

zu machen als der Zeitraum zwischen den Gruppen, oder es sind nur kurze Serien zu wählen mit größeren Zwischenräumen. Im ersten Falle übergreifen sich die Impulse der einzelnen aufeinanderfolgenden Serien, namentlich bei Strichen. Im zweiten Falle müssen in den Pausen zwischen den Serien durch eine selbsttätige Vorrichtung Impulse entsendet werden, welche den Empfänger nicht beeinflußen, dagegen alle fremde Stationen.

Dieser Einrichtung wurde ein so großer Raum gewidmet, weil die im Vorjahre unter Intervention der Wireless Telegraph and Signal Company zwischen Chelmsford und Frinton on Sea auf eine Entfernung von 55 km vorgenommenen Versuche tatsächlich ergeben haben, daß die Bullschen Apparate eine Geheimhaltung der Mitteilungen gewährleisten.

Digitized by Google

Das abgestimmte System von Lodge und Muirhead.

Da die eingangs erwähnten Systeme den Anforderungen der Praxis nicht entsprachen, suchte man eine Lösung der Vielfachtelegraphie in der Richtung zu finden, daß man sich bestrebte, die Empfangsstationen so einzurichten, daß sie nur auf die von der Sendestation ausgehenden Wellen bestimmter Periode ansprechen, von Wellen anderer Länge jedoch unbeeinflußt bleiben. Man hat also versucht, Sende- und Empfangsstation aufeinander abzustimmen oder Syntonie zwischen ihnen herzustellen. Zu diesem Behufe haben Lodge und Muirhead den einzelnen entsprechenden Teilen der Sende- und der Empfangsstation möglichst gleiche Größe und Anordnung gegeben. In Abb. 112 ist eine schematische Darstellung dieser Apparate wiedergegeben. Wie aus derselben zu ersehen ist,

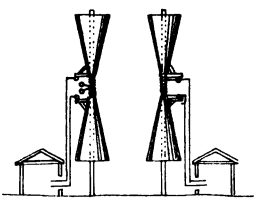


Abb. 112.

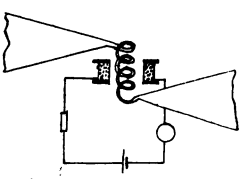


Abb. 113.

haben beide Stationen statt der Antenne und des Erdanschlusses metallische Kegelflächen passender Kapazität, welche durch bestimmt gewählte Selbstinduktionsspulen mit dem Oszillator verbunden sind. Obgleich Lodge und Muirhead ihre Einrichtungen, soviel bekannt ist, nicht einmal in Versuchen größeren Stiles erprobt haben, soll doch noch eine der von ihnen angebenen Anordnungen erwähnt werden, weil sie die erste war, bei welcher der Kohärerstromkreis mit dem Luftsysteme induktiv gekuppelt war. Die Primärspule (siehe Abb. 113) sollte durch den Ansatz passender Flügel abgestimmt werden und die aufgenommenen Schwingungen auf den Sekundärkreis übertragen. In welcher Weise diese Konstruktion von der Marconi-Gesellschaft benützt worden ist, wurde bereits erwähnt.

Das System Braun.

Professor Ferdinand Braun war der erste, der sich in eingehenderer Weise mit der Theorie des geschlossenen Schwingungskreises und der Anwendung derselben auf die Wellentelegraphie

Digitized by Google

befaßte. Vornehmlich studierte er die Bedingungen, welche eine Vervollkommnung der Sendeeinrichtung gestatten. Bisher hatte man eine größere Reichweite der Übermittelung entweder durch Verlängerung der Antenne oder der Funkenstrecke zu erzielen versucht. Bei gleichem Energieaufwande muß das erste Mittel offenbar den Erfolg haben, daß die Intensität der Wellen infolge ihrer größeren Ausdehnung in der Schwingungsrichtung eine entsprechende Schwächung erleidet, die allerdings bei Verwendung einer gleich viel verlängerten Empfangsantenne nicht zur Geltung kommt, da die längere Antenne dann ebensoviel Energie aufnimmt wie bei der Anwendung einer Sendeeinrichtung mit kürzerer Antenne die kürzere. Der Vorteil der längeren Antenne kann also lediglich darin erblickt werden, daß hierdurch Wellen größerer Länge erzeugt werden, welche mechanische Hindernisse leichter überwinden. Übrigens ist der Verlängerung der Antennen durch praktische Rücksichten eine Grenze gesetzt. Was die Verlängerung der Funkenstrecke anbelangt, so muß sie, wie bereits erwähnt, von einer Erhöhung des Entladepotentiales begleitet sein. Einerseits kann die Funkenstrecke deshalb nicht beliebig verlängert werden, weil die Funken hierbei bald ihre Fähigkeit der Wellenbildung verlieren, und andererseits darum, weil höhere Potentiale auch größere Gefahr mit sich bringen und eine schwieriger zu erreichende Isolation der Apparate bedingen.

Im Gegensatze zu diesen Bestrebungen hat Braun die Intensität der Schwingung zu erhöhen gesucht, indem er einen geschlossenen Schwingungskreis aus einer Funkenstrecke, einem Kondensator und einer Selbstinduktionsspule bildete und zwei Drähte — wovon der eine die Antenne bildet — von diesem Schwingungskreise abzweigte. Die Einfügung des Kondensators erhöht die Kapazität des Schwingungskreises und damit die schwingende Energie, außerdem hat sie, wie die Anbringung der Selbstinduktion, eine Vergrößerung der Wellenlänge zur Folge. Nach Angabe Brauns kann man so zu Wellen von einigen Kilometern Länge kommen. Die in dem geschlossenen Schwingungskreise erzeugten Schwingungen, welche im umgebenden Dielektrikum nur sehr schwache Wellen hervorrufen, müssen an die geradlinig gespannten Ansatzdrähte übertragen werden. In diesen letzteren werden durch die Schwingung im geschlossenen Kreise Schwingungen erzwungen, welche im allgemeinen schwach und unregelmäßig sind. Wenn jedoch die Ansatzdrähte auf die Schwingung im geschlossenen Kreise abgestimmt sind,

Digitized by Google

d. h. wenn ihre Länge nahezu einer Viertelwellenlänge des Kreises oder einem ungeraden Vielfachen davon gleich ist, dann entstehen Resonanzerscheinungen in den Drähten, wobei sich in diesen stehende Wellen ausbilden (siehe Abb. 114).

In den Abb. 115 und 116 sind zwei Schaltungen Brauns schematisch dargestellt. Die letztere unterscheidet sich von der ersteren nur durch die symmetrische Anordnung der Kapazitäten C

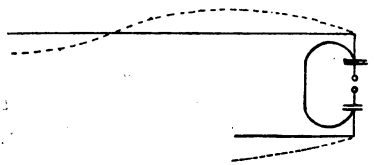


Abb. 114.

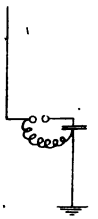


Abb. 115.

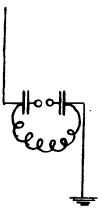


Abb. 116.

zu beiden Seiten der Funkenstrecke. Wie in diesen beiden Abbildungen angedeutet, dient der zweite Anschlußdraht als Erdverbindung. Zufolge seiner weiteren Versuche kam Braun zu der Anschauung, daß der Erdanschluß überflüssig sei, namentlich bei der Sendestation; daher wurde der zweite Anschlußdraht fortan isoliert gehalten. Durch diese Maßnahme wird das System großenteils von Störungen atmosphärischen Ursprungs unabhängig. Um

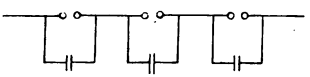


Abb. 117.

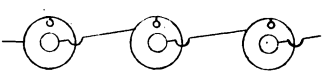


Abb. 118.

noch größere Energiemengen in Bewegung zu setzen, ohne die Periode der oszillierenden Entladung zu verändern, schaltet Braun mehrere, gleichgestimmte Schwingungskreise hintereinander (siehe Abb. 117). Nach Braun wird diese Schaltung in geeignetster Art in der Weise ausgeführt, daß die eine Kondensatorbelegung die andere vollständig umschließt und die Kapazität der Oszillatorkugeln und der Verbindungsdrähte auf ein Minimum reduziert wird (siehe Abb. 118).

Zur Übertragung der Energie aus dem geschlossenen Schwingungskreise auf die Antenne benützt Braun nicht nur den direkten, metallischen Anschluß — die sogenannte galvanische Kuppelung —, sondern er bedient sich auch der sogenannten induktiven oder

Digitized by Google

elektromagnetischen Kuppelung, welche darin besteht, daß in den geschlossenen Schwingungskreis die Primärwickelung eines Induktors eingeschaltet wird, dessen Sekundärwickelung einerseits mit der Antenne und andererseits mit deren Gegendraht in Verbindung gebracht wird (siehe Abb. 119). Die im geschlossenen Kreise auftretenden Schwingungen induzieren in der Sekundärwickelung gleichfalls Schwingungen, welche die größte Intensität haben, wenn die Eigenschwingungen beider Schwingungssysteme übereinstimmen. Bei dieser Schaltungsweise kann man bedeutend größere Energiemengen zur Verwendung und daher zur Ausstrahlung bringen als bei anderen, und so eine größere Reichweite der Apparate erzielen. Als Vorteil dieser Anordnung wird weiter angeführt, daß die Dämpfung der Schwingungen in der Antenne geringer sei als bei anderen Systemen, weil die Dämpfung durch den Widerstand der Funkenstrecke entfällt, und daß die Antenne nur von ungemein schnellen Schwingungen hohen Potentials durchflossen wird, welche keine physiologischen Wirkungen ausüben; daher ist in diesem Falle eine sorgfältige Isolierung der Antenne nicht notwendig.

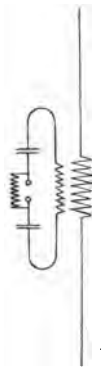


Abb. 119.

Auch bei der induktiven Kuppelung kann man mehrere Kondensatoren hintereinander schalten, wie Abb. 120 zeigt, oder man

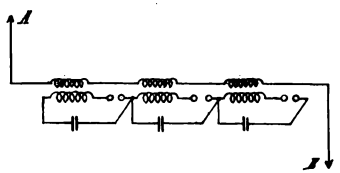


Abb. 120.

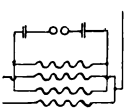


Abb. 121.

kann die Schwingung des Primärkreises mittels mehrerer parallel geschalteter Induktoren auf das Antennensystem übertragen (siehe Abb. 121). Diese und ähnliche Anordnungen verfolgen das Ziel, möglichst reine und ungedämpfte Schwingungen von großem Energiegehalte hervorzurufen.

Die Empfangseinrichtung ist auf dem Grundsatze aufgebaut, daß sie auf Wellen, welche vom zugehörigen Sender ausgehen, mit der größtmöglichen Empfindlichkeit anspricht, dagegen von Wellen anderer Periode möglichst wenig in Tätigkeit versetzt wird. Der

Digitized by Google

Empfänger (siehe Abb. 122) ist demnach aus einem geschlossenen Resonanzkreise mit zwei Kondensatoren und einer Induktionsspule zusammengesetzt, an welchen einerseits die Antenne und andererseits der Gegendraht angeschlossen sind An die zweite Wickelung sind beiderseits freie Drähte von der Antennenlänge angeschlossen, deren einer den Kohärer enthält. Beide Schwingungssysteme des Empfängers müssen mit dem Sendersysteme auf eine Wellenlänge abgestimmt sein, damit die vom zugehörigen Sender ausgehenden Wellen die größte Wirkung haben, die Wellen anderer Perioden die geringste. Man kann jedoch auch beim Empfänger statt der elektromagnetischen Kuppelung des Kohärerkreises die galvanische Kuppelung (Abb. 123) oder auch eine gemischte Kuppelung (Abb. 124) in Anwendung bringen.

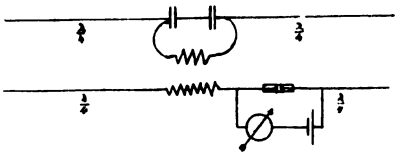


Abb. 122.

Die Gegendrähte werden sowohl beim Sender als auch beim Empfänger unter entsprechender Kürzung zu Spulen aufgewunden

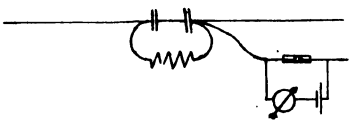


Abb. 123.

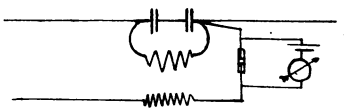


Abb. 124.

oder durch passende Metallplatten ersetzt, so daß die Wellenlänge des Systemes unverändert bleibt.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie System Prof. Braun und Siemens & Halske hat die Braunschen Patente mit nur unwesentlichen Abänderungen zur Ausführung gebracht. In Abb. 125 ist die nach diesem Systeme hergestellte, in der „Hochbahnstation" in Berlin aufgestellte Telegraphenstation wiedergegeben. Durch das Fenster rechts tritt der Luftdraht ein und ist zu dem Mittelkontakte eines Universalumschalters geführt, der in der Stellung nach rechts die Verbindung mit den Empfangs-, in der Stellung nach links mit den Sendeeinrichtungen herstellt. Der Induktor (unten, Mitte) wird durch Anschluß an eine Lichtleitung von 110 Volt mit Strom versehen, und wird als Unterbrecher ein Wehneltscher (siehe links unten) benützt. Die Pole der Funkenstrecke, welche sich innerhalb einer Schalldämpfung aus Glas befindet, sind mit dem Systeme der

Digitized by Google

Röhrenkondensatoren (am Tische links, davor die Funkenstrecke) und der Primärwickelung des Öltransformators (links von den Kondensatoren) zu einem Kreise gebildet Die Sekundärwickelung des Transformators steht mit dem Umschalter und andererseits mit der als elektrisches Gegengewicht dienenden Zinktrommel (rechts unten) in Verbindung. Der verwendete Kohärer ist bereits eingehend beschrieben worden. Bei der Empfangseinrichtung wird ein kleiner Luftkondensator benützt, da die hier auftretenden Potentiale wesentlich geringer sind als jene des Senders. Neben dem Schreibapparate rechts ist ein Telephonempfänger zu sehen, der mindestens dreimal so empfindlich ist als der Kohärer und daher geeignet ist, alle Versuche der Abstimmung, soweit diese die Wahrung des Telegrammgeheimnisses anstreben, zuschanden zu machen. Dieser von Dr. Köpsel konstruierte Apparat besteht im wesentlichen aus einem mikrophonischen Kontakte, der aus einem an einer Blattfeder befestigten Stahlplättchen und einer gewöhnlich zugespitzten Kohlenelektrode gebildet ist. Der Druck zwischen diesen beiden Teilen kann mittels Mikrometerschraube reguliert werden.

Abb. 125.

Die mit den Braunschen Apparaten in den Jahren 1899 und 1900 durchgeführten Versuche zeigten ihre Überlegenheit gegenüber der einfachen Marconi-Schaltung hinsichtlich der Reichweite. Braun hält sein System für besonders geeignet für die Anwendung in der Mehrfachtelegraphie durch Abstimmung zugehöriger Apparate, doch sind ausgedehntere Versuche hierüber nicht bekannt geworden.

Marconis System der syntonen Telegraphie.

In einem am 15. Mai 1901 vor der Society of Arts in London gehaltenen Vortrage nimmt Marconi die Priorität bezüglich der Verbesserung der Einrichtungen für Wellentelegraphie — oder wie er sie nennt, für drahtlose Telegraphie — durch Abstimmung der-

Digitized by Google

selben auf Resonanz für sich in Anspruch, wenngleich die deutschen Patente Brauns zu dieser Zeit schon bekannt waren.

Schon vordem hatte Marconi mit dem unter dem Namen jigger eingeführten Transformator bei der Empfangseinrichtung einen geschlossenen Stromkreis, den Kohärerstromkreis, und ein offenes Schwingungssystem, das der Antenne, gebildet. Wenn diese beiden Schwingungssysteme auf dieselbe Wellenlänge abgestimmt werden, welche dem zugehörigen Sender zukommt, so werden die von letzterem ausgehenden Wellen im Empfangssysteme die maximale Wirkung hervorrufen. Wellen anderer Länge werden den Empfänger nur schwach oder gar nicht zum Ansprechen bringen. Auf dieser Abstimmung hat Marconi seine ursprünglichen Versuche einer gleichzeitigen und unabhängigen Verständigung zwischen mehreren Paaren zugehöriger Telegraphenstationen aufgebaut. Für diese Versuche waren in Poole auf der Insel Wight zwei Empfangsstationen installiert und wurden die beiden Sendeeinrichtungen in verschiedenen Entfernungen aufgestellt, die eine in St. Catherine in 50 km Entfernung und die andere auf einem 16 km hiervon entfernt verankerten Schiffe. Beide Sendeapparate hatten die einfache Marconi-Schaltung, ohne geschlossenen Primärkreis, und unterschieden sich nur darin, daß die nähere Station eine 27 m lange Antenne, die entferntere eine solche von 45 m Länge erhielt.

Wenngleich Marconi mitteilt, daß diese Experimente gute Ergebnisse hatten, so wurde doch bald klar, daß diese Einrichtungen das erstrebte Ziel nur in unvollkommener Weise erreichten. Wenn sich nämlich beide Sendestationen in ungefähr gleicher Entfernung von Poole befanden, so konnten die daselbst ankommenden Telegramme nicht mehr voneinander geschieden werden. Dadurch wurde Marconi zur Erkenntnis geführt, daß die Verschiedenheit der Länge der entsendeten Wellen allein nicht hinreiche, um eine unabhängige Mehrfachtelegraphie zu erreichen. Die von den offenen Sendern ausgehenden Wellen unterliegen einer sehr raschen Dämpfung, daher wirken sie wie ein einfacher Impuls und können Resonanzwirkungen an abgestimmten Sendern nicht hervorbringen. Solche Wellen werden daher jeden Empfänger beeinflussen.

Um diesem Übelstande zu begegnen, wollte Marconi die Dämpfung der Senderschwingungen verringern und gab als hierzu geeignetes Verfahren eine Kapazitätserhöhung des Senders an, welche jedoch nicht von einer Verstärkung der Ausstrahlung oder der Anfangsintensität der Wellen begleitet sein dürfe. Zu diesem Behufe spannte

Digitized by Google

er in der Nähe der Sendeantenne einen hierzu parallelen, geerdeten Draht. Bessere Ergebnisse erzielte Marconi mit der schon erwähnten Einrichtung mit zwei Blechzylindern (Abb. 94). Der äußere Zylinder spielt die Rolle der Antenne und ist über eine Selbstinduktionsspule mit der Funkenstrecke in Verbindung; der innere Zylinder, welcher an die geerdete Kugel der Funkenstrecke angeschlossen ist, macht gleichfalls Schwingungen. Die Selbstinduktionsspule hat den Zweck, zwischen den Schwingungen in beiden Zylindern, welche offenbar einen Kondensator bilden, eine Phasendifferenz hervorzurufen, was nach Marconi für die Wirksamkeit der Einrichtung ein unbedingtes Erfordernis ist. Bei der Empfangsstation ist statt der Funkenstrecke der Kohärer angebracht. Wie Marconi angibt, kann man bei diesen Einrichtungen leicht eine Abstimmung der Schwingungsperioden

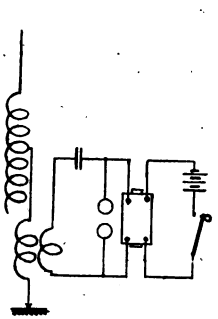


Abb. 126.

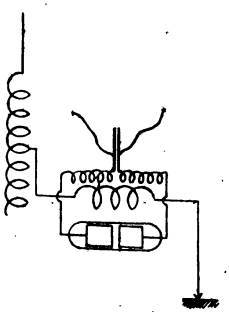


Abb. 127.

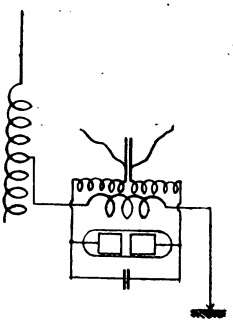


Abb. 128.

des Senders und Empfängers erzielen, so daß der letztere nur von einem abgestimmten Sender beeinflußt werden kann. In Poole und St. Catherine wurden solche Apparate mit Zylindern von 7 m Höhe und 1,5 m Durchmesser aufgestellt und zwischen diesen Stationen eine gute Verständigung erreicht, ohne daß andere, in der Nähe aufgestellte Stationen weder diese Telegramme aufnehmen, noch stören konnten. Auch von atmosphärischen Störungen zeigten sich diese Apparate frei.

Andere Anordnung zeigen die in Abb. 126 und 127 wiedergegebenen Einrichtungen des Senders bezw. des Empfängers der Wireless Telegraph and Signal Company. Zur Erreichung der Syntonie sind bei beiden Stationen geschlossene Schwingungskreise mit Kapazität und Selbstinduktion gebildet, welche mit dem Luftdrahte durch einen Transformator induktiv gekuppelt sind. Abb. 128 zeigt eine Abänderung des Empfängers in der Weise, daß parallel

Digitized by Google

zum Kohärer noch ein weiterer Kondensator geschaltet erscheint. Um diese Apparate genau auf dieselbe Schwingungsperiode abstimmen zu können, ist sowohl bei der Sende- als bei der Empfangsstation an das untere Ende der Antenne eine Drahtspule an-

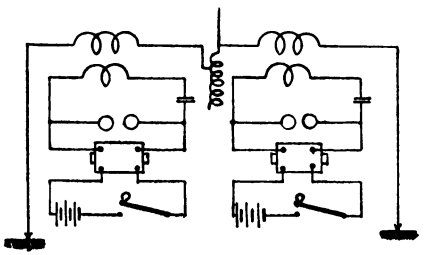


Abb. 129.

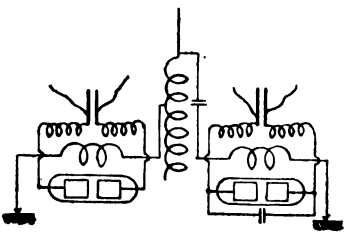


Abb. 130.

geschlossen, von welcher an beliebiger Stelle der Anschlußdraht zum Apparatsysteme abgezweigt werden kann. Durch Veränderung der Abzweigestelle und daher der in den offenen Schwingungskreis eingeschalteten Spulenwindungen kann die Schwingungsdauer innerhalb ziemlich weiter Grenzen nach Bedarf reguliert werden.

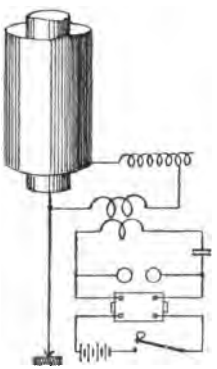


Abb. 131.

Dieselbe Einrichtung findet sich auch bei den für Duplextelegraphie eingerichteten Stationen (siehe Abb. 129 und 130). Hier ermöglicht sie den Anschluß der beiden Einrichtungen an eine einzige Antenne an verschiedenen Stellen und damit die verschiedene Abstimmung der beiden Einrichtungen. Die mit solchen Einrichtungen von Marconi im Herbste 1900 durchgeführten Versuche zeigten den gewünschten Erfolg, indem eine ungestörte Verständigung zwischen je zwei Sende- und Empfangsstationen möglich war.

Eine weitere Verbesserung dieser Einrichtung sieht Marconi in der Ausstattung derselben mit der Zylinderantenne (siehe Abb. 131).

Das System Slaby-Arco.

Die Beobachtungsresultate, welche Slaby und Arco bei Untersuchung von Schwingungen in geradlinigen Drähten erhielten und welche sie als Grundlage ihres von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin in die Praxis eingeführten Systemes der mehr-

Digitized by Google

fachen Wellentelegraphie — oder, wie Slaby sie nennt, Funkentelegraphie — wählten, wurden im Kapitel „Schwingungen in geradlinigen Drähten" eingehend behandelt. Sie sollen hier nur insoweit zusammengefaßt werden, als sie für das Verständnis der Auffassung Slabys notwendig sind. Ein geradliniger Oszillator gerät in stationäre Schwingungen, deren Wellenlänge doppelt so groß ist als die Länge des Oszillators. Die hierbei ausgesendeten Wellen erregen in einer Empfangsantenne, deren Länge mit jener des Oszillators übereinstimmt, Schwingungen gleicher Wellenlänge, welche wegen der durch die gewählte Drahtlänge hervorgerufenen Resonanz einen Maximalwert haben.

Was die Anordnung des Kohärers betrifft, so hält Slaby die Anbringung des Kohärers am Fuße der Antenne deshalb für prinzipiell unrichtig, weil der Wellenindikator nicht durch eine bestimmte Stromstärke, sondern durch die Änderungen des Potentiales beeinflußt werde. Die maximalen Schwankungen des Potentiales finden aber an den freien Enden der Antenne statt. Hierzu sei bemerkt, daß diese Schwankungen zeitlich aufeinanderfolgen und daher, wie es aus den vielen angeführten Versuchen hervorgeht, nicht eine Maximalwirkung auf den Kohärer ausüben können. Slaby hat auch im Gegensatze zu seiner Theorie in höchst geistreicher Weise, wie später ausgeführt werden wird, den Kohärer an einer Stelle angeordnet, wo er künstlich eine maximale Potentialdifferenz geschaffen hat, welche selbstverständlich den Wellenanzeiger in maximaler Weise beeinflußt.

Das Prinzip der Slabyschen Einrichtung besteht darin, daß an den Erdungspunkt der Empfangsantenne ein Draht angeschlossen wird, der mit der Antenne zusammengenommen eine Länge repräsentiert, welche einer halben Wellenlänge gleich ist. Dann bildet sich in diesem Drahtsysteme unter der Einwirkung der einfallenden Wellen eine stehende Schwingung von halber Wellenlänge aus, wobei der Erdungspunkt nicht genau der Halbierungspunkt des Drahtsystemes sein muß. Der Kohärer wird an das freie Ende des Anschlußdrahtes, der auch in Spulenform aufgewickelt werden kann, angeschlossen. Demnach kann man nach Slaby als Empfangsantenne jeden vertikalen Leiter, z. B. einen Blitzableiter, benützen. Auch kann man durch Anschluß verschieden langer Anschlußdrähte an eine Antenne eine mehrfache Wellentelegraphie ermöglichen, wie Slaby durch seinen bekannten Versuch am 22. Dezember 1900 gezeigt hat.

Digitized by Google

An einen 40 m hohen Blitzableiter wurden zwei horizontale Drähte von 40, bezw. 60 m Länge angeschlossen, so daß sich in dem einen Drahte Schwingungen von der Wellenlänge 2 (40 + 40) = 160 m Länge, in dem anderen dagegen solche von der Wellenlänge 2 (40 + 60) = 200 m Länge ausbilden konnten. An den freien Enden der Anschlußdrähte wurden die Kohärer angebracht, welche demnach nur auf die Wellen ansprechen, welche der Länge „Antenne mehr Anschlußdraht" entsprechen. Die Sendestationen waren die eine in 4, die andere in 14 km Entfernung von dem Empfangsorte aufgestellt und auf die entsprechende Wellenlänge abgestimmt. So gelang es, zwei Telegramme gleichzeitig mit einer Geschwindigkeit von 72 Worten in der Minute aufzunehmen. Auf die Wahl der Wellenlängen muß besonders aufmerksam gemacht werden. Ihr Verhältnis ist so angenommen, daß die kürzere Welle sich im längeren Drahte und die längere Welle im kürzeren Drahte nicht ausbilden kann. Das weite Auseinanderliegen dieser Wellen, sowie die besondere Wahl der Wellenlängen hat unzweifelhaft nicht wenig zum Gelingen dieses Versuches beigetragen, der jedoch insofern von großer Wichtigkeit ist, als er den ersten öffentlichen Beweis für die Möglichkeit einer durch Abstimmung der Apparate zustande gebrachten, ungestörten Duplextelegraphie bildet.

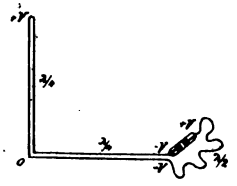


Abb. 132.

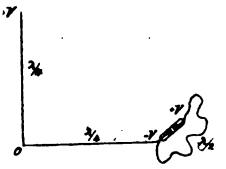


Abb. 133.

Außerdem aber gestattet der Anschlußdraht, wie schon angedeutet, eine größere Potentialdifferenz zur Einwirkung auf den Kohärer einwirken zu lassen. Denkt man sich nämlich sowohl Antenne als auch den Anschlußdraht verdoppelt (Abb. 132), so werden beide Schwingungssysteme in gleicher Weise von den einfallenden Wellen in Schwingungen versetzt; zwischen den Enden der gleich langen Anschlußdrähte besteht keine Potentialdifferenz. Verlängert man aber den einen Anschlußdraht noch um eine halbe Wellenlänge, dann sind die freien Enden beider Anschlußdrähte in entgegengesetzten Schwingungsphasen, es herrscht zwischen ihnen eine maximale Potentialdifferenz. Dieselbe Erscheinung zeigt sich nach der Beobachtung des Grafen Arco, wenn man nur eine Antenne mit Anschluß- und Verlängerungsdraht verwendet und die zweite Antenne wegläßt (Abb. 133). Bei dieser Schaltung ist selbstverständlich der Erdanschluß überflüssig.

Digitized by Google

Eine weitere Verbesserung seines Systemes konnte Slaby mit Hilfe der von ihm „Multiplikator“ genannten Einrichtung durchführen. Als er aus Bequemlichkeitsrücksichten den Anschlußdraht an die Antenne zu einer großen Spule wickelte, fand er, daß die auf den Kohärer wirkende elektromotorische Kraft bedeutend gesteigert war. Eine Erklärung dieser auffälligen Erscheinung ist bisher nach dem Wissen des Autors nicht versucht worden, obgleich dieselbe sozusagen auf der Hand liegt. Denkt man sich dieselben Spannungen, wie sie längs eines geradlinig gespannten Drahtes auftreten, auf dem Spulendrahte vorhanden, so ist klar, daß durch die Nähe der benachbarten Windungen eine abstoßende Wirkung zwischen den einzelnen Teilladungen dieser Leiterteile zustande kommen muß, d. h. die Ladungen werden auf die Außenseite der Windungen zusammengedrängt und daher eine bedeutende Steigerung der Spannung hervorgebracht.

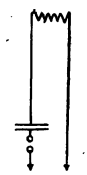


Abb. 134.

Um den Sender zu veranlassen, nur Wellen von bestimmter Periode hervorzubringen, hat Slaby zuerst das obere Antennenende über eine Spule hoher Selbstinduktion mit der Erde verbunden (Abb. 134) und gleichzeitig zwischen Funkenstrecke und Antenne einen Kondensator eingeschaltet. Dieser letztere hatte den Zweck, sowohl die zur Ausstrahlung verfügbare Energie zu erhöhen, als auch die Wellenlänge zu vergrößern. Die Selbstinduktionsspule sollte die entstehenden Schwingungen nicht durchgehen lassen, so daß der Antennendraht allein die Länge der entstehenden Wellen bestimmen und von ihm allein eine Ausstrahlung der Wellen erfolgen sollte.

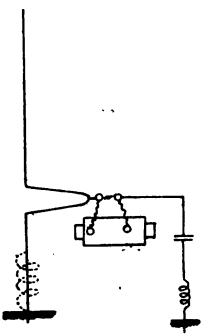


Abb. 135.

Da dies jedoch im allgemeinen nicht als zutreffend angenommen werden konnte, verließ Slaby diese Anordnung und kehrte zur einfachen Antenne zurück (siehe Abb. 135). Die Antenne bildet nahe dem Erdanschlusse eine Schleife, an welche die eine Hälfte des Oszillators angeschlossen ist, dessen andere Hälfte über einen Kondensator und eine Selbstinduktionsspule an Erde geschlossen ist. Slaby hatte die Anschauung, daß in diesem Falle in der Antenne Schwingungen entstehen, deren Länge der vierfachen Antennenlänge gleich ist. Um längere Wellen zu erzeugen, muß vor dem Erdanschluß der Antenne eine Selbstinduktionsspule eingeschaltet und gleichzeitig die Antenne auf diese längere Welle abgestimmt werden.

Digitized by Google

Zu diesem Zwecke wurde die zwischen Kondensator und Erde angebrachte Selbstinduktionsspule mit einer Reguliervorrichtung ausgestattet, welche die Einschaltung einer beliebigen Windungszahl in den Schwingungskreis gestattete. Auch in anderer Weise kann die Schwingungsperiode des mit Erde geschlossenen Schwingungskreises geregelt werden, indem man eine beliebige Zahl von Leydener Flaschen als Kapazität einschaltet. Nach mehrfachen Abänderungen in der Anordnung der Apparate ist die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin zu dem geschlossenen Schwingungskreise mit abgezweigter Antenne (siehe Abb. 136) übergegangen, welcher im Wesen mit der von Braun angegebenen Zusammenstellung übereinstimmt.

Interessant sind die Einrichtungen, welche bei einer Sende-

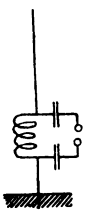


Abb. 136.

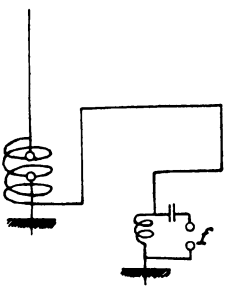


Abb. 137.

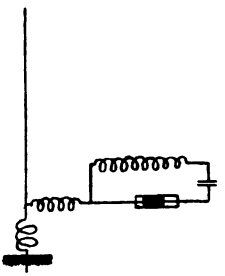


Abb. 138.

station auf Kriegsschiffen mit Rücksicht auf die schwierige Isolation der Drähte getroffen wurden.

Abb. 137 stellt schematisch diese Anordnung dar. Unter Deck ist ein geschlossener Schwingungskreis, bestehend aus dem Oszillator *f*, einer veränderbaren Selbstinduktion und einer veränderbaren Kapazität, angebracht, von welchem ein gewöhnlicher, durch Guttapercha isolierter Kupferdraht abgezweigt ist. Da in diesem Sehwingungskreise keine hohen Spannungen auftreten, genügt diese Art der Isolierung für den Abzweigedraht, welcher an eine Multiplikatorspule angeschlossen ist. Innerhalb dieser Spule, welche den Zweck hat, die Spannung zu steigern, befindet sich ein Oszillator mit Antennen- und Erdanschluß, dessen Schlagweite zehnmal so groß ist als jene des erstgenannten Oszillators.

Auch bei der Empfangsstation benützt die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin einen geschlossenen Kohärerstromkreis (Abb. 138). In Abb. 139 ist eine Übersicht über die Apparate einer

Digitized by Google

Empfangsstation gegeben. Mit *A* ist der durch Drehung um seine Achse bezüglich seiner Empfindlichkeit regulierbare Kohärer bezeichnet, mit *F* ein Trockenelement, dessen Stromkreis durch den Kohärer und die Elektromagnetspulen des Relais *R R* gebildet wird. Um die Einwirkung des Unterbrechungsstromes auf den Kohärer hintanzuhalten, sind die Klemmschrauben des Relais mit den Belegungen eines Kondensators *C* in Verbindung gebracht. Zur Wiederherstellung des ursprünglichen Widerstandes des Kohärers dient der

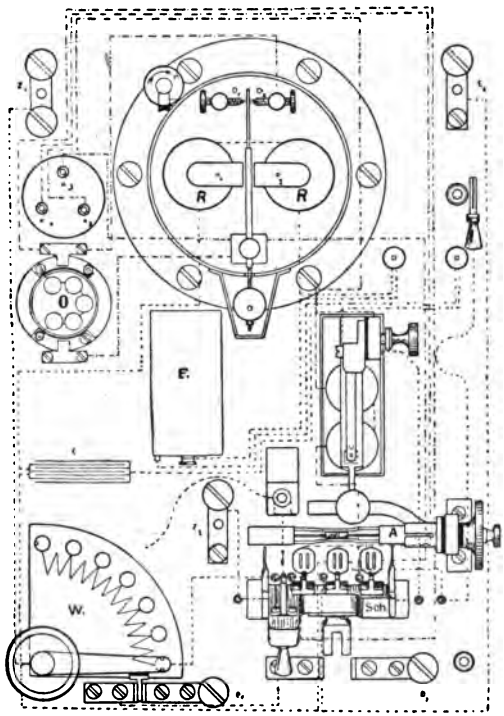


Abb. 139.

Hammer *U*, während der regelbare Widerstand *W* den Zweck hat, die Einwirkung auf den Kohärer auf das gewöhnliche Maß zu verkleinern, wenn sich die Sendestation in geringerer Entfernung befindet. Das Relais betätigt nicht nur den Hammer, sondern auch den Morseschreibapparat und ein Alarmklingelwerk, welche in der Zeichnung nicht wiedergegeben sind. Vier Trockenelemente, welche sie mit Strom versehen, sind, wenn diese Apparate nicht in Tätigkeit sind, durch eine Reihe polarisierbarer Widerstände *O* geschlossen,

Digitized by Google

welche auch die Aufgabe haben, die Unterbrechungsextraströme der Lokalstromkreise in sich aufzunehmen.

Das System Fessenden.

Professor Reginald A. Fessenden hat ein System der Wellentelegraphie geschaffen, welches sich im allgemeinen an das System Marconi anlehnt, jedoch in vielen Teilen wesentliche Abweichungen zeigt. Zunächst sucht Fessenden Wellen zu erzeugen, welche er halbfreie Ätherwellen nennt. Diese haben ihre Fußpunkte in Leitern, die, von der unteren Oszillatorkugel ausgehend, in der Länge von mindestens einer Viertelwelle in der Richtung horizontal ausgespannt sind, nach welcher die Mitteilungen entsendet werden sollen. Diese Drähte, welche Fessenden Wellenfall nennt, sind dann zur Erde geführt. Von dem Gedanken ausgehend, daß die Erzeugung reiner Sinusschwingungen — ohne harmonische Oberschwingungen — für die Abstimmung der Apparate von Wesenheit sei, gelangt Fessenden zu der Forderung, daß das Verhältnis zwischen Kapazität und Selbstinduktion für die Längeneinheit in allen Teilen des Apparates dasselbe sein müsse. Er verwendet demnach im Gegensatze zu den übrigen Systemen, welche Selbstinduktionsspulen zur Herstellung der Abstimmung benützen, in Rostform gespannte Drähte, welche durch verschiebbare Brücken miteinander verbunden sind.

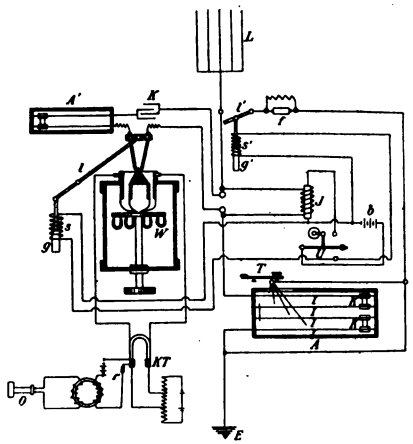


Abb. 140.

Ein vollständiger Sende- und Empfangsapparat ist in Abb. 140 dargestellt. Die Induktionsspule J ist einerseits mit dem Luftleiter L von großer Kapazität und geringer Selbstinduktion, andererseits über die Abstimmungseinrichtung A mit der Erde verbunden. Das Prinzip, nach dem diese Einrichtung zusammengestellt ist, wurde bereits erläutert; es erübrigt nur, zu erwähnen, daß die Abstimmungsdrähte I, welche sich in einem Ölbade befinden, bei Niederdrücken des Tasters T vermittels eigener, in das Bad reichender Greifer kurzgeschlossen werden. Dadurch entsteht gleichzeitig ein Neben-

Digitized by Google

schluß über einen Teil des Rostes zur Erde. Fessenden läßt nämlich den Induktor J in ununterbrochener Tätigkeit und bringt die Zeichen dadurch zustande, daß der Sender durch Niederdrücken des Tasters mit der Empfangsstation außer Abstimmung gebracht wird. In dem Kontrollstromkreise des Induktors ist ein Umschalter U angeordnet, welcher es ermöglicht, den Generator unwirksam zu machen, wenn der Apparat als Empfänger dienen soll.

Der Empfängerstromkreis besteht aus dem Kondensator K, dem Abstimmungsroste A', in welchem Selbstinduktion und Kapazität vereint sind, und dem schon beschriebenen Hitzdrahtbarretter; dieser Kreis ist zur Funkenstrecke parallel geschaltet. Das Solenoid s mit dem beweglichen Eisenkern g, welcher mit dem Hebel l gekuppelt ist, stellt einen Ausschalter dar, welcher in Tätigkeit tritt, wenn der Umschalter U umgelegt wird. Wird der letztere auf „Sendung" gestellt, so werden die Zuführungsdrähte von dem Barretter entfernt; steht er dagegen auf „Empfang", so treten diese Drähte mit dem Barretter wieder in Kontakt, gleichzeitig aber zieht das Solenoid s' den Kern g' in sich hinein und der Hebel l' stellt die Verbindung der Antenne über einen Kohärer f mit der Erde her. Diese Einrichtung bezweckt den Schutz der Empfangsapparate bei der Empfangstellung gegen atmosphärische Einflüsse. Als eigentlicher Aufnahmeapparat dient ein Doppelkopftelephon KT, welches eine viel raschere Arbeit zuläßt als ein Morseschreiber. Die beiden Telephone dieses Apparates zeigen gegeneinander eine geringe Potentialdifferenz, welche durch eine passend angeschaltete Elektrizitätsquelle hervorgerufen wird.

Die Wirkungsweise der Einrichtung wird wie folgt erklärt: Die vom Sender ununterbrochen ausgehenden Wellen treffen die Antenne und erzeugen im Empfängerkreise Schwingungen, welche den Barretter auf konstanter Temperatur erhalten. Wird nun der Taster in der Sendestation niedergedrückt, so werden sehr schwache, nicht abgestimmte Wellen entsendet, welche im Empfängerkreise die vorhandenen Schwingungen nicht aufrecht erhalten können. Der Barretter kühlt sich ab und ändert seinen Widerstand, was in den Empfangstelephonen deutlich als Ton vernommen wird. Für den Anruf dient eine eigene Vorrichtung. Von einem Empfangstelephon ist ein Stromkreis abgezweigt, in welchem sich ein Kohärer f', eine Batterie und die Primärwickelung eines Transformators befindet. Die Sekundärwickelung des letzteren ist mit einem Anruftelephon kurz geschlossen, das jedoch auch durch eine andere passende Anzeigevorrichtung ersetzt werden kann.

Digitized by Google

Der in Abb. 141 dargestellte Apparat verfolgt den Zweck, ein ganz bestimmtes Verhältnis zwischen der Selbstinduktion, der Kapazität und dem Widerstande ohne Rücksicht auf das angewendete Potential aufrecht zu erhalten. Die Funkenstrecke *F* wird hier aus einer Kugel und einer Platte gebildet; sie befindet sich in einem abgeschlossenen Gefäße *G*, in welchem der an dem Manometer *M* ablesbare Luftdruck durch die Luftpumpe *L* nach Bedarf erhöht werden kann. Wenn der Luftdruck wächst, so steigt auch die dielektrische Festigkeit des Mediums an, so daß auf diese Weise das Funkenpotential fast unbegrenzt erhöht werden kann, ohne daß die bei gewöhnlichem Luftdrucke auftretenden Energieverluste im Funken zur Geltung kommen. Fessenden gelang es, festzustellen, daß man mit diesem Apparate eine vollkommene Proportionalität zwischen dem angewendeten Funkenpotentiale und der ausgestrahlten Energie erhalten könne. Dadurch will er wesentlich größere Energiemengen in Wellenform aussenden können, ohne daß der hierzu nötige Energieaufwand in dem üblichen Maße ansteigt.

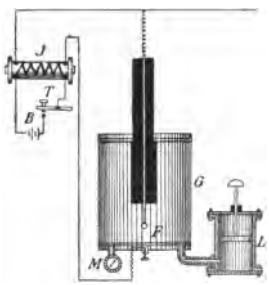


Abb. 141.

An Abänderungen und Verbesserungen, welche Fessenden an seinen Einrichtungen in neuerer Zeit durchgeführt hat, ist vor allem die Verwendung des schon geschilderten Flüssigkeitsbarretters an Stelle des wenig dauerhaften Hitzdrahtbarretters zu nennen. Ferner hat dieser Erfinder ein System der wahlweisen Telegraphie in der Weise zusammengestellt, daß eine ganze Reihe verschieden abgestimmter Sendeeinrichtungen von einem einzigen Induktorium, und zwar in bestimmt gewählten Zeitabschnitten hintereinander, gespeist wird, so daß eine Reihe von Wellenimpulsen verschiedener Periode entsendet werden; bei der Empfangsstation sind gleichviele Empfangseinrichtungen vorhanden, welche mit den entsprechenden Sendern abgestimmt sind und deren Schwingungskreise synchron mit der Zeitfolge der Wellenimpulse geschlossen werden, so daß zum Zustandekommen einer ordentlichen Zeichenaufnahme nicht nur die Abstimmung der Schwingungskreise, sondern auch die synchrone Funktion des Senders und Empfängers erfordert wird.

Mit der in Abb. 142 schematisch dargestellten Einrichtung will Fessenden ebenfalls eine wahlweise Telegraphie ermöglichen. Der Sender *A* besitzt zwei Antennen von verschiedener Abstimmung, in

Digitized by Google

denen sich demgemäß zwei verschiedene Hauptschwingungen ausbilden. Die Empfangseinrichtung *B* ist gleichfalls mit zwei Antennen ausgerüstet, deren Abstimmung mit jener der Sendeantennen übereinstimmt. Die Empfangsantennen sind über Selbstinduktionsspulen mit dem Wellenanzeiger in Verbindung; ein Erdanschluß fehlt hier. Die Wirkung dieser Einrichtung ist so gedacht: Trifft eine einfache Welle die Empfangsantennen, so zeigt sich an den Elektroden des Wellenanzeigers keine Potentialdifferenz, kommt jedoch die kombinierte Welle des Senders an, so wird sich in jedem Antennenzweige vornehmlich die Eigenschwingung ausbilden und so eine Potententialdifferenz zustande kommen, welche den Wellenanzeiger beeinflußt.

Um den ausgestrahlten Wellen vorwiegend eine bestimmte Fortpflanzungsrichtung zu erteilen, verwendet Fessenden einen Metall-

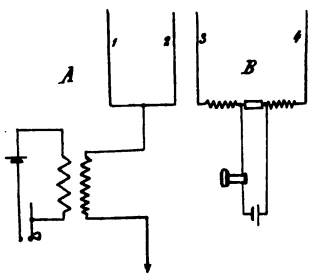


Abb. 142.

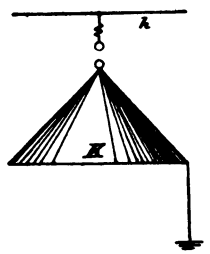


Abb. 143.

konus *K* (siehe Abb. 143) aus Netzwerk oder Metallblatt, welcher an die untere Elektrode der Funkenstrecke anschließt, und einen horizontalen Leiter *h*, welcher mit der oberen Elektrode in Verbindung steht und der in der Richtung, nach welcher telegraphiert werden soll, orientiert ist.

Endlich schlägt Fessenden als Stromerzeuger eine durch eine schnell laufende Dampfturbine angetriebene Wechselstrommaschine vor. Wird zwischen diese und die Funkenstrecke ein Transformator geschaltet, so läßt sich leicht eine hohe Spannung bei genügender Wechselzahl erhalten. Die Vorteile dieser Einrichtung sind sofort einleuchtend. Insbesondere für transportable Telegraphenstationen wird sich diese Einrichtung bewähren.

Die Einrichtungen Fessendens sollen sich sehr gut bewährt haben. Die Übermittelungsgeschwindigkeit erreicht 25—35 Worte in der Minute. Ein besonderer Vorzug des Systemes liegt in der

Digitized by Google

vollständigen Unabhängigkeit von atmosphärischen Störungen, wenn die amerikanischen Berichte über die wellentelegraphische Verständigung zwischen Kap Hatteras und Roanoke Island wahrheitsgetreu sind.

Das System De Forest.

Lee de Forest hat ein System von wellentelegraphischen Apparaten erdacht, welches von der „De Forest Wireless Telegraph Company" ausgeführt wird und dessen Hauptstütze der unter dem Namen „Responder" bereits geschilderte Wellenanzeiger ist. Als Stromquelle für die Funkenstrecke wird eine Wechselstrommaschine *D* von großer Polwechselzahl verwendet, deren Strom mittels Transformators *T* auf 25000 Volt hinauftransformiert wird (siehe Abb. 144). Bei der Empfängereinrichtung (Abb. 145) ist die Antenne induktiv mit dem Responderstromkreis gekuppelt. (In der Zeichnung bedeutet *b* die Batterie, *f* den Responder und *R* das Empfangstelephon.)

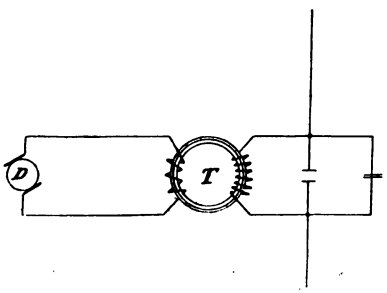


Abb. 144.

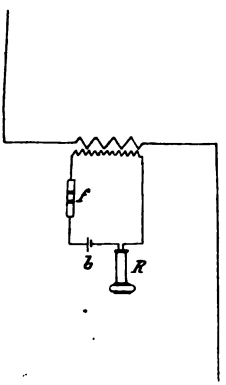


Abb. 145.

In neuerer Zeit (1903) hat De Forest zur Erzielung der Abstimmung seinem Systeme die Lechersche Anordnung zugrunde gelegt. Diese bildet einen Schwingungskreis von ausgesprochener Resonanz von ganz bestimmter Eigenschwingungsperiode und verhält sich gegen Schwingungen von abweichender Periode unempfindlich; dieses Schwingungssystem hat nur eine sehr schwache Dämpfung; die in ihm auftretenden Schwingungen halten daher lange an. Die Schwingungsbäuche und Knoten treten immer an bestimmten Punkten auf, so daß man Drahtanschlüsse an Punkten herstellen kann, deren Schwingungszustand genau bekannt ist. Schließlich läßt sich dieses System ohne Schwierigkeit und genau auf jede Schwingungsperiode abstimmen. An die Antenne und den Erddraht werden bei der

Digitized by Google

Sendestation (siehe Abb. 146) zwei parallele Drähte angeschlossen, deren Länge genau gleich einer halben Wellenlänge ist. An ihrem anderen Ende stehen sie mit den Belegungen eines Kondensators K in Verbindung, der von einem Transformator T geladen wird und sich über die Funkenstrecke F unter gleichzeitiger Entstehung stehender Schwingungen entlädt. Bei der Empfangsstation (Abb. 147) wird der Wellenindikator w als Brücke zwischen zwei Spannungsbäuchen angeordnet. Bei diesen Einrichtungen können verschiedene Variationen platzgreifen: Man kann z. B. einen der parallelen Drähte

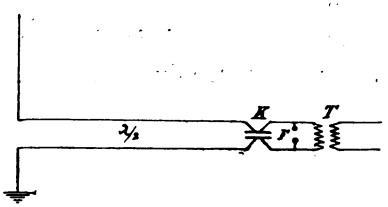


Abb. 146.

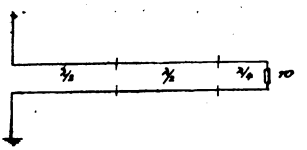


Abb. 147.

durch eine Metallröhre ersetzen, welche den anderen Draht umschließt. Oder man kann die Kapazität und das Potential der Paralleldrähte durch Veränderung ihres Abstandes variieren. Bei wachsendem Abstande wird das Potential erhöht, dagegen die Kapazität verringert. Statt der verschiedenen Abstände kann man auch verschiedene Dielektrika als trennende Medien zwischen den Paralleldrähten verwenden. Endlich kann man die beiden Drähte miteinander in nicht zu steilen Windungen verseilen und dann in sanfter Steigung auf eine Spule aufspulen, ohne daß die Wirkung der Drähte dadurch wesentlich geändert wird. Ferner hat De Forest den Luftdraht sowie den Erdanschlußdraht durch ein Paar einander gegenübergestellter Platten (Abb. 148) ersetzt und vermeint, damit die Fortpflanzungsrichtung der Wellen hauptsächlich in die zu den Platten senkrechte Richtung dirigieren zu können. Ob sich dieses System in der Praxis genügend bewährt hat, ist unbekannt, doch hat De Forest in allerneuester Zeit ein anderes System in England eingeführt.

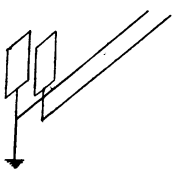


Abb. 148.

Als maßgebende Gesichtspunkte für die Konstruktion seiner neuesten Einrichtungen gibt De Forest die folgenden: Eine noch so sorgfältige Abstimmung des Empfängers ist insolange nutzlos, als jede Entladung des Senders nur 3—4 Wellenimpulse erzeugt.

Digitized by Google

Die Ursache, warum die Sendeeinrichtung nicht einen langen Zug schwach gedämpfter Schwingungen hervorbringen kann, wie er für abgestimmte Einrichtungen erfordert wird, ist darin zu suchen, daß die Apparate unvollkommen gebaut sind. Namentlich führt er die rasche Dämpfung auf die mangelhafte Isolation des Luftdrahtes, besonders am oberen Befestigungsende, zurück. Bei feuchter und nebeliger Luft wirkt die unsichtbare Ausströmung an der Antenne wie eine angehängte Kapazität, indem sie die Eigenschwingungsperiode des Systemes vergrößert und eine Regulierung des Systemes erfordert. Diese Ausströmung stellt jedoch einen effektiven Energieverlust dar, der die Wellendämpfung verstärkt. Auch in den Kondensatoren treten Hysteresisverluste auf, welche sich durch Erhitzung

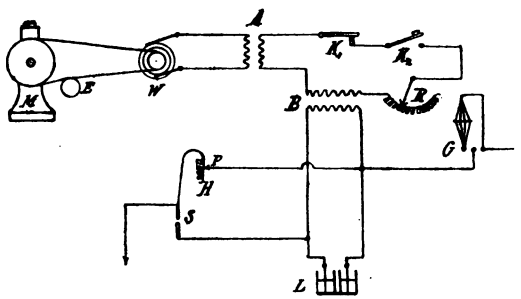


Abb. 149.

des Glases bemerkbar machen, namentlich bei bleihaltigem Glase; daher empfiehlt er als Dielektrikum bestes Flintglas. Vor allem seien jedoch Ölkondensatoren zu bevorzugen, trotzdem sie leichter durchgeschlagen werden als die in Luft befindlichen (Leydener Flaschen), weil bei ihnen die stark dämpfenden Büschelentladungen entfallen. Als beste Art der Gruppierung der Kondensatoren zu einer Batterie findet De Forest jene im Kreise mit gleich langen Verbindungsdrähten. Weiter schlägt er zur Verringerung der Verluste im Funken die schon von Braun angegebene Unterteilung des Funkens in eine Reihe einzelner kleiner Funken vor. Bei Verwendung großer Energiemengen (über 3 KW) sind bei den Funkenstrecken Kühlvorrichtungen in Anwendung zu bringen. Um endlich die schwächende Einwirkung der Halteseile des Antennenmastes, sowie des letzteren auf die Antenne möglichst zu verringern, findet De Forest die Unterteilung der Seile und Maste, sowie eine Trennung der einzelnen Teile durch Isolatoren nötig.

Digitized by Google

Nunmehr folgt eine kurze Beschreibung der De Forestschen Apparate, mit welchen zwischen Howth in Irland und Holyhead über eine Entfernung von 120 km gegen Ende des Jahres 1903 Versuche begonnen wurden. Ein dreipferdiger Petroleummotor *M* treibt gleichzeitig die Wechselstrommaschine *W* (Abb. 149) und die Erregermaschine *E* der Feldmagnete. Der bei 50 Wechseln in der Sekunde erzeugte Strom von 500 Volt geht durch den Transformator *A*, dessen Primär- und Sekundärwickelung gleich sind und welcher nur den Zweck hat, schädliche Rückwirkungen des Senderkreises auf die Wechselstrommaschine zu verhüten. Von der Sekundärwickelung des Transformators geht der Strom über den

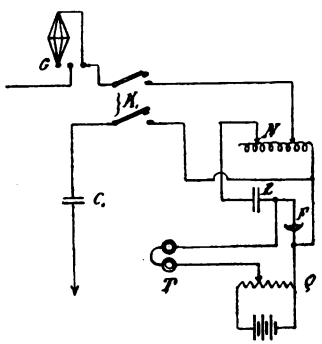


Abb. 150.

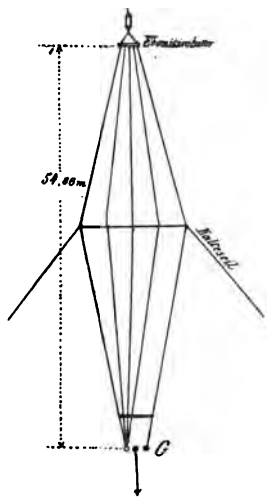


Abb. 151.

Ausschalter K_1, die Taste K_2, welche die Unterbrechung des Stromes im Inneren eines Kastens bewirkt, der bei Stromstärken über 6 Amp. mit Öl gefüllt wird, den sogenannten Reaktanzregulator *R*, der die Aufgabe hat, durch Einschaltung von mehr Windungen die Lichtbogenbildung in der Funkenstrecke bei Ansteigen der Stromstärke zu verhüten, und über die Primärwickelung des Transformators *B*, welcher die Spannung seiner Sekundärwickelung auf 20000 Volt erhöht. Als Kapazität werden 12 Leydener Flaschen *L* verwendet, von welchen je 6 hintereinander geschaltet werden. Diese zwei Gruppen werden parallel geschaltet und repräsentieren dann eine Kapazität von 0,006 Mikrofarad. Die Elektroden der Funkenstrecke *S* werden aus nickelplattierten Messingstäben von 12 mm Durchmesser gebildet; ihr regulierbarer Abstand ist gewöhnlich 18 mm. Die Spirale *H*

Digitized by Google

besteht aus vier Windungen vernickelten Kupferrohres von 6 mm Durchmesser, welche in einem Kreisbogen von 450 mm Durchmesser angeordnet sind, und hat die Aufgabe, durch Verschiebung des beweglichen Kontaktes *P* die im Schwingungskreise eingeschaltete Selbstinduktion nach Bedarf zu regulieren. Bei *G* befinden sich zwei Funkenstrecken von je 0,8 mm Länge; die mittlere Elektrode ist mit dem Kontakte *P* verbunden, die linke mit dem vierfachen und die rechte Elektrode mit dem einfachen Luftdrahte. Beim Geben werden diese Funkenstrecken gleichzeitig überbrückt, beim Empfangen dagegen wirken sie isolierend. Daher sind, wie Abb. 149 bis 151 zeigen, beim Geben alle fünf Luftdrähte parallel geschaltet, beim Empfangen befinden sich nur vier Drähte in Parallelschaltung zueinander und mit dem fünften in Hintereinanderschaltung, so daß eine Schleife besteht. Die Empfangseinrichtung besteht aus der regulierbaren Selbstinduktion *N*, dem Responder *F*, der regulierbaren Kapazität *L*, dem Potentiometer *Q*, dem Empfangstelephon *T* und der unveränderlichen Kapazität C_1. Die Übermittelungsgeschwindigkeit mit diesem Apparate betrug 20—30 Worte in der Minute.

Das System Telefunken.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, welche aus der Vereinigung der beiden deutschen Gesellschaften zur Ausnützung der Slaby-Arco und Braunschen Patente hervorgegangen ist, mußte vorerst das große wissenschaftliche und technische Material der alten Gesellschaften sichten und verarbeiten, um die Vorzüge beider Systeme zu verbinden und für ein neues System nutzbar zu machen. Diese Arbeiten haben zur Ausführung des Systemes „Telefunken“ geführt, wie es von der genannten Gesellschaft genannt worden ist.

Die wesentlichste Neuerung dieser Einrichtung gegenüber den älteren beruht auf der Verwendung der von Professor Braun gefundenen Methoden zur Vergrößerung der ausgestrahlten Energie; diese Schaltungen werden auch Energieschaltungen genannt. Wie bei fast allen neueren Sendeanordnungen für elektrische Wellentelegraphie wird auch hier zur Erregung des Luftleiters ein geschlossener, elektrischer Schwingungskreis angewendet. Eine Hochspannungsquelle *J* ladet die aus Kondensatoren bestehende Kapazität *C*. Die bei der Entladung über die Funkenstrecke *f* freiwerdende Energie führt dann Schwingungen aus, welche die Selbstinduktion *L* passieren müssen. Der zu erregende Sendedraht *A* wird mit dem Schwingungs-

Digitized by Google

kreise entweder galvanisch (Abb. 152) durch unmittelbaren Anschluß an ein Ende der Selbstinduktionsspule L angeschlossen, deren zweites Ende geerdet ist, oder induktiv (Abb. 153) unter Benützung der Sekundärwickelung eines Transformators gekuppelt. Im ersten Falle kann der Anschluß des Luftdrahtes und der Erdverbindung oder der diese vertretenden Kapazität anstatt an die Enden der Selbstinduktionsspule L an die Belegungen des Kondensators C hergestellt werden. Die Länge des Sendedrahtes wird so gewählt, daß die Eigenschwingung des Drahtes dem Viertel der Wellenlänge des geschlossenen Schwingungskreises oder einem ungeraden Vielfachen davon entspricht.

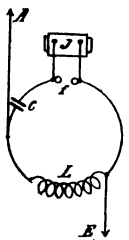


Abb. 152.

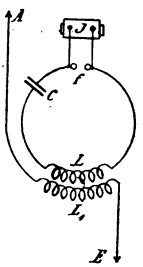


Abb. 153.

Zur Vergrösserung der Ausstrahlungsenergie wird die Kapazität des Erregerkreises größer gewählt als jene der Antenne. Das Verhältnis beider Kapazitäten, Kapazitätsübersetzung genannt, variiert bei den bisherigen Ausführungsformen zwischen 4 und 100.

Um die schwingende Energie eines derartigen Erregersystemes zu vergrößern, kann man zwei Mittel anwenden:

a) Erhöhung der Erregerkapazität C oder

b) Steigerung der Ladespannung unter gleichzeitiger Verlängerung der Funkenstrecke f.

Hinsichtlich der Wahl der Eigenschwingung für den Erregerkreis ist man durch praktische Verhältnisse einigermaßen beschränkt. Soll die Eigenschwingung bei gegebener Sendeantenne konstant bleiben, so muß auch das Produkt CL_e, d. i. Kapazität der Kondensatoren mal Selbstinduktion des Erregerkreises konstant bleiben. Die zur Aufrechterhaltung der Schwingung und zur Ausstrahlung verfügbare Energie ist $^1/_2 CV^2$, wenn unter V das Potential verstanden wird, auf welches die Kondensatoren des Erregerkreises geladen werden. Vergrößert man zum Zwecke der Steigerung der Schwingungsenergie die Kapazität des Erregerkreises, so muß man, um das Gleichbleiben der Wellenlänge zu sichern, gleichzeitig die Selbstinduktion L_e entsprechend verkleinern. Diese Selbstinduktion ist nicht in der Spule L konzentriert, sondern auch auf die übrigen Teile des Erregerkreises verteilt. Insolange die Selbstinduktion der Spule L im Verhältnisse zu der restlichen Selbstinduktion groß ist,

Digitized by Google

kann letztere vernachlässigt werden. Bei fortgesetzter Vergrößerung von C und gleichzeitiger Verringerung von L gelangt man endlich dahin, daß die zerstreut verteilte Selbstinduktion im Verhältnisse zu L nicht mehr zu vernachlässigen ist, oder sogar ihr gleich oder größer wird wie sie.

Die Festigkeit der elektrischen Kuppelung zwischen dem Erregerkreise und der Sendeantenne ist von zwei Verhältnissen abhängig: Erstens von dem Verhältnisse der Selbstinduktion des Erregerkreises zu jener der Senderantenne und zweitens von dem Verhältnisse des zur Kuppelung verwendeten Teiles der Selbstinduktion des Erregerkreises zu der ganzen Selbstinduktion des letzteren. Je mehr man die Erregerkapazität und die Kapazitätsübersetzung vergrößert, eine um so losere Kuppelung tritt ein. Mit der Vergrößerung der Erregerkapazität muß gleichzeitig eine Verkleinerung der Erregerselbstinduktion eintreten, bei der Vergrößerung der Kapazitätsübersetzung wird ein kleinerer Teil der Selbstinduktion zur Kuppelung verwendet. Durch die Verkleinerung der Selbstinduktion bewirkt man eine Verringerung der Festigkeit der Kuppelung zwischen dem Erregerkreise und der Antenne, weil die Selbstinduktion der Verbindungsdrähte von um so größerem Einflusse wird, je kleiner man die eigentliche Selbstinduktion wählt. Versteht man unter τ den Kuppelungsgrad zwischen Erregerkreis und Sendeantenne, unter L_e die Selbstinduktion des Erregerkreises, unter L_s jene der Sendeantenne und unter L_{es} den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion zwischen beiden Systemen, so kann man nachstehende Näherungsformel als gültig ansehen:

$$L_{es}^2 = \tau^2 \cdot L_e \cdot L_s .$$

Den Kuppelungsgrad τ darf man nicht unter eine gewisse Größe sinken lassen, da die Amplitudenvergrößerung des Potentials von ihm abhängig ist. Macht man die Annahme, daß wie bei direkter Anschaltung des Sendedrahtes die Bedingung $L_{es} = L_e$ besteht, so ergibt sich auch: $L_e = \tau^2 L_s$. Da nun die Selbstinduktion L_s in erster Linie durch die Antennenlänge bestimmt ist, so besagt die letzte Formel, daß der Kuppelungsgrad beider Systeme mit der Selbstinduktion des Erregerkreises gleichzeitig abnimmt. Dies zeigt also, daß die Erregerkapazität nicht über eine gewisse Grenze erhöht werden darf. Es ist ferner zu beachten, daß durch die Erhöhung der Erregerkapazität wohl die Schwingungsenergie des Erregerkreises erhöht, aber auch langsamer auf den Sendedraht übertragen wird,

Digitized by Google

welcher die übertragene Energie in einer entsprechend weniger gedämpften Welle ausstrahlt. Die maximale Amplitude der Wellen des Sendedrahtes wird bei bedeutend vergrößerter Erregerkapazität kleiner sein, als bei relativ geringer Erregerkapazität und entsprechend größerer Selbstinduktion und damit festerer Kuppelung. Die Dämpfung der in Verwendung stehenden Empfangsapparate ist bisher stets verhältnismäßig bedeutend gewesen. Es ist also nicht möglich, durch fortgesetzte Erhöhung der Kapazität des Erregerkreises auch die Reichweite eines Sendeapparates in gleicher Weise zu vergrößern. Denn eine stark gedämpfte Empfangseinrichtung wird bereits nach wenigen aufgenommenen Schwingungen jene Maximalamplitude besitzen, bei welcher der Wellenindikator funktioniert. Die Schwingung wird diese Amplitude solange beibehalten, solange dies der abklingende Zug der ankommenden Wellen zuläßt. Da die Verlustdämpfung der Erregerfunkenstrecke den Wirkungsgrad der Sendeeinrichtung verschlechtert, so kann die Ausnützung der Senderenergie in wenig gedämpften Wellen zur Vergrößerung der Reichweite nur dann platzgreifen, wenn die Empfangsapparate für den gleichen Grad der Dämpfung eingerichtet werden. Anderenfalls würde als einziges Ergebnis der ausgesendeten, bedeutenden Energiemenge nur eine schärfere Empfangsabstimmung resultieren.

Herr Professor Braun hat verschiedene Verfahren angegeben, durch welche die beschriebene Beschränkung der Kapazität und damit der entsendeten Energie unter Einhaltung einer hinreichend festen Kuppelung des Sendesystems aufgehoben werden kann. Die einfachste Methode besteht darin, mehrere z. B. n Schwingungskreise zu benützen, deren jeder dieselbe Eigenschwingung besitzt und von der Energiequelle mit derselben Energiemenge gespeist wird, wie vordem ein einzelner Erregerkreis. Damit aber die n Erregerkreise wirklich auch die n-fache Energie auf die Sendeantenne übertragen, demnach diese die Energie in n-facher Menge ausstrahlt, ist es notwendig, die einzelnen Erregerkreise genau auf dieselbe Schwingungszahl abzustimmen und Vorsorge zu treffen, daß die Schwingung in allen n Erregerkreisen von gleicher Phase sei.

Die anfänglichen Schaltungen dieser Art sind in den Abb. 154 und 155 wiedergegeben. Es sind einige Erregerkreise mit gleicher Eigenschwingung hintereinander geschaltet; an die Enden dieser Reihe sind einerseits der Luftdraht und andererseits der Erddraht

Digitized by Google

angeschlossen. Die Ladung der Kondensatoren erfolgt in Serie. Die den n Kondensatoren innewohnende Energie ist

$$^1/_2 \cdot \left(\frac{C}{n}\right) \cdot (n \cdot V)^2 = n \cdot \frac{C \cdot V^2}{2};$$

dabei ist V die Potentialdifferenz jedes einzelnen Kondensators. Man sieht, daß die verfügbare Energie n-mal so groß ist, als bei

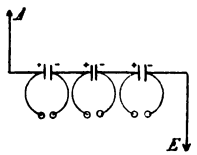


Abb. 154.

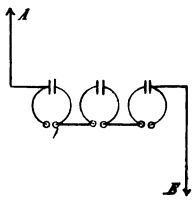


Abb. 155.

einem Erregerkreise, ohne daß sich die der Potentialdifferenz V entsprechende Dämpfung im Entladefunken geändert hätte. Bei der in Abb. 156 skizzierten Schaltung erscheint eine innigere Kuppelung dadurch erreicht, daß die Anschlüsse des Luftdrahtes, des Erddrahtes und der Verbindungsdrähte an solchen Punkten hergestellt sind, wo während der Entladung die größten Potentialdifferenzen

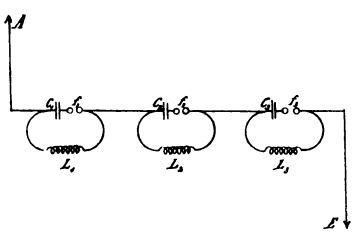


Abb. 156.

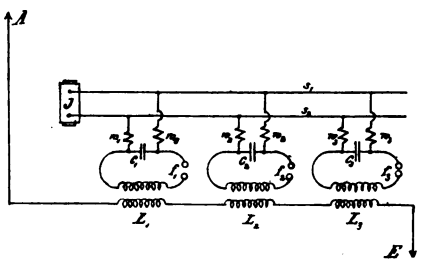


Abb. 157.

vorhanden sind, nämlich möglichst nahe an den Kondensatorbelegungen. Diese Schaltung erfuhr aus praktischen Rücksichten eine Änderung in der Richtung, daß der Luftleiter und der Erdanschluß mit den Selbstinduktionen zu einem einzigen Stromwege verbunden wurden, der induktiv erregt wurde. In den Abb. 120 und 157 ist diese geänderte Schaltung dargestellt, bei welcher die langsamen Schwingungen der Energiequelle nicht in den Sendedraht übertreten können. Diese Schaltungen rühren bereits aus den Jahren 1899 und 1900 her.

Digitized by Google

Es hat sich herausgestellt, daß die Kapazitätsübersetzung bei Sendeeinrichtungen mit vielen Antennen höchstens 20, bei solchen mit einer einzigen Antenne höchstens 15 betragen darf und daß von der Gesamtselbstinduktion des Erregerkreises, sei es, daß der Luftdraht direkt angeschlossen ist, sei es, daß er induktiv erregt wird, mindestens die Hälfte zur Kuppelung verwendet werden muß, wenn die Festigkeit der Kuppelung zur Erreichung eines praktisch genügenden Synchronismus ausreichen soll. Man kann die Bedingung einer hinreichend innigen Kuppelung auch anders aussprechen. Werden zwei auf dieselbe Schwingungszahl abgestimmte Schwingungssysteme miteinander gekuppelt, so tritt in dem gekuppelten Systeme nicht eine Schwingung von der Wellenlänge λ auf, welche jedem einzelnen Systeme für sich zukommt, sondern eine aus zwei Wellen zusammengesetzte Schwingung, deren eine Wellenlänge $\lambda_1 < \lambda$ und deren andere Wellenlänge $\lambda_2 > \lambda$ ist. Das Merkmal der hinreichend starken Kuppelung ist, daß die beiden Wellen einen Minimalunterschied von 25% haben.

Die Ladung der Kondensatoren bei den Schaltungen Abb. 156 und 157 kann, wie auch in der letzten Abbildung angedeutet, in der Weise durchgeführt werden, daß die Kondensatorbelegungen durch Vermittelung Ohm'scher Widerstände oder auch von Selbstinduktionsspulen mit den Polen des ladenden Funkeninduktors verbunden werden. In dieser Abbildung ist J der Induktor oder ein Hochspannungstransformator, w_1, w_2 und w_3 große Widerstände oder Selbstinduktionen, s_1 und s_2 die Sammelschienen, welche von der Stromquelle zu den Widerständen führen. Die Drosselspulen w_1, w_2 und w_3 sind so gewählt, daß die relativ langsam schwingenden Ströme der Ladequelle ungehindert passieren können, daß hingegen die äußerst raschen Entladeschwingungen nicht hindurchgehen können, so daß die Erregerkreise bezüglich der Entladeschwingung von den Sammelschienen als gänzlich abgetrennt angesehen werden können. Bei der Anordnung nach Abb. 156 wird jedoch auch eine Ladung der Kondensatoren in der Weise als zulässig angesehen, daß der Luftdraht direkt mit dem einen Pole der Hochspannungsquelle verbunden wird, während die anderen, gegen die Funkenstrecke zu gelegenen Kondensatorbelegungen durch Dazwischenschaltung von Drosselspulen an die vom anderen Hochspannungspole ausgehende Sammelschiene angeschlossen werden.

Werden n Erregersysteme verwendet, so erhält man eine Kuppelung, deren Festigkeit n mal so groß ist, wenn die Kuppelung

Digitized by Google

zwischen dem Sendedrahte und jedem einzelnen Erregersysteme ungeändert bleibt.

Eine Erhöhung der Schwingungsenergie läßt sich auch unter Beibehaltung der festen Kuppelung erzielen, wenn man eine Reihe von einfachen Erregersystemen zu einem in sich geschlossenen Entladungskreise schaltet (Abb. 158). Werden die einzelnen Erregersysteme $C_1 L_1 f_1$, $C_2 L_2 f_2$ usw. zunächst unter Zuhilfenahme eines Kurzschlußbügels K auf eine und dieselbe Wellenlänge abgestimmt und dann hintereinandergeschaltet, so bleibt die Wellenlänge im Gesamtkreise dieselbe wie in den Einzelkreisen, weil durch die Hintereinanderschaltung die Kapazität in demselben Ausmaße vermindert wird, wie die Selbstinduktion erhöht wird; es bleibt also der Wert des Produktes CL ungeändert. Hier erfolgt die Entlade-

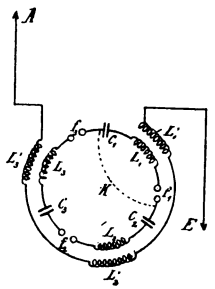


Abb. 158.

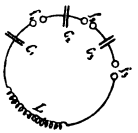


Abb. 159.

schwingung ohne Phasenverschiebung, da die Einzelerreger durch die Hintereinanderschaltung eine hinreichend feste Kuppelung aufweisen. Es ist einleuchtend, daß auch bei dieser Schaltung die Schwingungsenergie vervielfacht wird, wenn die einzelnen Kondensatoren von einer gemeinsamen Elektrizitätsquelle unter Dazwischenschaltung genügend großer, gewöhnlicher oder induktiver Widerstände gespeist werden. Bei Verwendung eines einzigen Luftdrahtes und der Schaltung nach Abb. 158 kann die Kuppelung, deren Festigkeit nach Bedarf variiert werden kann, nur auf induktivem Wege erfolgen. Es ist jedoch auch möglich, ebensoviele, direkt angeschaltete Antennen zu erregen, als Einzelerreger vorhanden sind.

In praktischer Hinsicht ist es zweckmäßiger, die laut Abb. 158 verteilten Selbstinduktionsspulen L_1 bis L_3 in eine einzige L zu vereinigen (Abb. 159). Bei dieser Schaltungsart kann die Antenne entweder direkt an den kombinierten Schwingungskreis angeschaltet oder mit ihm induktiv gekuppelt werden. Die Art der Ladung der Kondensatoren stimmt mit jener in Abb. 157 dargestellten überein;

Digitized by Google

zwischen Sammelschiene und Kondensator werden Selbstinduktionen dazwischengeschaltet.

Die bis nun gemachten Erfahrungen deuten darauf hin, daß jedes Schwingungssystem eine bestimmte Funkenlänge besitzt, für welche die im Funken verbrauchte Energie, als Prozentsatz der Gesamtenergie ausgedrückt, ein Minimum wird. Dieser günstigste Wert der Funkenlänge ist nicht nur von der Kapazität des Schwingungssystemes abhängig, sondern dürfte auch eine Funktion der Schwingungszahl und der Dämpfung sein. Von einer bestimmten Funkenlänge angefangen hört die Proportionalität zwischen Spannung und Funkenlänge zu bestehen auf; die Funkenlängen wachsen von da an rascher als die Spannungen. Im Gegensatze hierzu bleibt, unter der Voraussetzung, daß die Entladungsintensität konstant bleibt, die Proportionalität zwischen der Funkenlänge und dem Widerstande des Funkens näherungsweise bestehen. Die mit Entladekugeln bestimmter Größe durchgeführten Versuche über den Zusammenhang zwischen Spannung und Funkenlänge sind in Abb. 160 dargestellt. Diese Kurve, deren Abszissen die Funkenlängen in Millimetern und deren Ordinaten die zugehörigen Spannungen sind, zeigt im Punkte *a* eine deutliche Richtungsänderung und läßt ersehen, daß bei Funkenlängen über 4 mm die Spannung viel langsamer zunimmt, als die zugehörige Funkenlänge (Vergl. Vorrede).

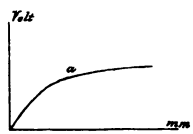


Abb. 160.

Die Erkenntnis einer günstigsten Funkenlänge legte den Gedanken nahe, nur mit dieser zu arbeiten. Da man jedoch gezwungen ist, mit höheren Spannungen den Erregerkreis zu beeinflussen, um die gewünschte Wirkungsfähigkeit des Senders zu erreichen, so ergab sich die Notwendigkeit, die gesamte Spannungsdifferenz auf den Erregerkreis gleichmäßig zu verteilen, so daß jede Funkenstrecke mit der günstigsten Spannung in Tätigkeit treten kann. Wenn man die ziemlich begründete Annahme macht, daß das Verhalten eines Funkens unter sonst gleichen Umständen, als Elektrodenmaterial, Belichtung usf. durch den Zustand des elektrischen Feldes vor und nach der Entladung vollkommen bestimmt sei, so ergibt sich, daß die Potentialdifferenz vor der Entladung und die Strömung während der Entladung den Funken eindeutig bestimmen muß. Läßt man Funken entstehen, welche gleichen Potentialdifferenzen entspringen und sieht man für den Stromausgleich Wege vor, welche gleiche Strömung erwarten lassen, so muß man schließen, daß diese

Digitized by Google

Funken gleiches Verhalten zeigen werden, d. h. gleichen Energiekonsum haben werden. Die Schaltung nach Abb. 161 genügt den geforderten Anfangsbedingungen unmittelbar und den Strömungsbedingungen aller Wahrscheinlichkeit nach; dabei stellen w_1 und w_2 große Widerstände vor; die Zahlen *0*, *1000*, *2000* und *3000 V* stellen beispielsweise gewählte Anfangspotentiale vor. Der damit durchgeführte Versuch ergab die volle Bestätigung der Annahme.

Hieraus wurde von Rendahl im Institute des Professors Braun die in Abb. 162 angedeutete Schaltung abgeleitet, bei welcher relativ sehr kleine Hülfskondensatoren c_1, c_2, c_3 von je 100 cm Kapazität zu den Funkenstrecken f_1, f_2, f_3 parallel geschaltet erscheinen. Diese Anordnung der Hilfskondensatoren verfolgt lediglich den Zweck, die Spannung in gleichmäßiger Weise auf alle Teilfunkenstrecken

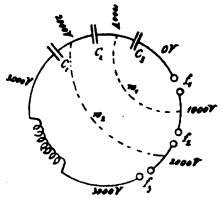


Abb. 161.

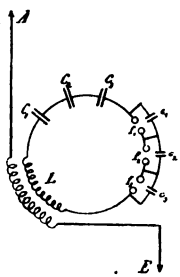


Abb. 162.

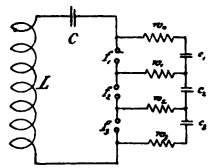


Abb. 163.

zu verteilen. Derlei Hilfskondensatoren können entweder direkt oder unter Dazwischenschaltung von Widerständen oder Selbstinduktionen w_0, w_1, w_2, w_3, wie dies in Abb. 163 dargestellt ist, an den Schwingungskreis angeschaltet werden. Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, daß die in Abb. 163 dargestellte Vereinigung der Hauptkondensatoren C_1, C_2, C_3 zu einem einzigen Kondensator C auch schon in Abb. 162 hätte platzgreifen können. Die Vorschaltung der Widerstandsspulen w_0 bis w_3 vor die Hilfskondensatoren geschieht in der Absicht, eine Beeinflussung der Schwingung im Hauptkreise durch die Entladeschwingung der Hilfskondensatoren zu verhüten. Es ist jedoch die Anbringung von Widerstandsspulen kein unbedingtes Gebot der Notwendigkeit, weil die in den Hilfskondensatoren angesammelte Energie im Verhältnisse zu jener des Hauptkreises eine so geringfügige ist, daß ein nennenswerter Einfluß auf die Entladeschwingung nicht eintritt.

Der durch die Schaltung, Abb. 159 erreichte Zweck, auf jede Teilfunkenstrecke dieselbe Potentialdifferenz wirken zu lassen, ohne

Digitized by Google

daß die Resonanz mit dem Luftleitersysteme aufgehoben würde, wird durch die Verwendung der Hilfskondensatoren gleichfalls erzielt.

Durch die Auflösung einer Funkenstrecke in mehrere Einzelfunkenstrecken und durch die gleichzeitige Parallelschaltung von Hilfskondensatoren ist man in die Lage versetzt, jede einzelne Funkenstrecke mit der günstigsten Funkenlänge arbeiten zu lassen, ohne in der Anwendung höherer Gesamtentladespannungen, daher größerer Schwingungsenergie beschränkt zu sein.

Anstatt der Hilfskondensatoren könnte man auch Hilfsselbstinduktionen verwenden; diese müßten zu den Teilfunken parallel, untereinander jedoch in Serie geschaltet sein. Diese in praktischer Beziehung minder brauchbare Methode würde erfordern, daß eine besondere Abstimmung zwischen den einzelnen Teilen hergestellt würde. Die Einrichtung ist so getroffen, daß der Primärstromkreis des ladenden Funkeninduktors oder Transformators dieselbe Eigenschwingung besitzt, wie der Sekundärkreis, der unseren Hauptschwingungskreis bildet. Wenn nun Hilfsselbstinduktionsspulen angebracht werden, so bilden diese einen Nebenschluß zur sekundären Induktorwickelung, was die anfängliche Resonanz aufheben würde, wenn die primäre Wechselstromfrequenz den neuen Verhältnissen nicht angepaßt würde. Da dies nicht immer angängig ist, so würde sich die Forderung erheben, daß die Sekundärwickelung des Induktors mit den Hilfsselbstinduktionen und den Kondensatoren, in Serie geschaltet, dieselbe Eigenschwingung haben müssen, wie die Primärwickelung des Induktors.

Da Stationen für elektrische Wellentelegraphie miteinander auf die verschiedensten Entfernungen in sicherer Weise sollen verkehren können, so macht sich die Unzukömmlichkeit geltend, daß das verläßliche Arbeiten des Wellendetektors, der in Rücksicht auf die Notwendigkeit der Verständigung auf weite Entfernungen sehr empfindlich eingestellt werden muß, in zu geringen Entfernungen durch die allzu große Intensität der ihn erregenden elektrischen Wellen beeinträchtigt erscheint. Zur Behebung dieses Übelstandes wurden entweder die Schwingungen des Empfängers durch Einschaltung von Widerständen gedämpft d. h. ihre Amplitude verringert oder aber der Empfangsapparat durch Veränderung seiner Kapazität oder seiner Selbstinduktion aus seinem Resonanzzustande gebracht. Diese Regulierungsmethoden zeigen in der Praxis den Nachteil, daß die nicht mehr in Resonanz mit der Sendereinrichtung befindlichen Empfänger nunmehr eine andere Eigenschwingung

Digitized by Google

besitzen und daher in wirksamer Weise durch Impulse, welche von gerade zufällig gleichgestimmten Sendern ausgehen, in ihrer Wirksamkeit lahmgelegt werden können. Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hat eine neue Methode gefunden, um diesem Übelstande zu begegnen, welche darin besteht, durch Einschaltung passender Nebenschlüsse zum Detektor auf diesen nur einen entsprechenden Bruchteil der Schwingungsenergie wirken zu lassen, ohne daß hierbei die Abstimmung auf die dem Empfangsapparate zukommende Wellenlänge verloren geht. Die Einrichtung der Nebenschlüsse ist so gewählt, daß gleichzeitig mit der Einschaltung des Nebenschlusses, der im wesentlichen aus einem Kondensator besteht, die Selbstinduktion des Empfängers entsprechend vermindert wird.

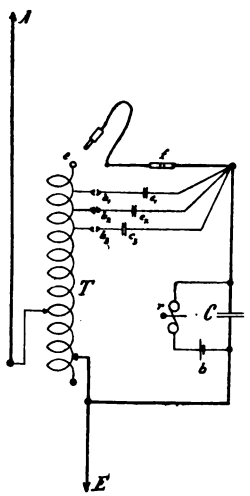


Abb. 164.

Die Abb. 164 möge zur näheren Erklärung beitragen. In dieser Zeichnung ist die Empfangsantenne mit A, eine Transformatorspule mit einer einzigen fortlaufenden Wickelung mit T, der Erdanschluß mit E und der Detektor mit f bezeichnet. b_1, b_2, b_3 stellen Einschaltklemmen vor, welche einerseits mit verschiedenen Punkten der Spule T in Verbindung stehen und andererseits mit den einen Belegungen der Kondensatoren c_1, c_2, c_3 von verschiedener Kapazität verbunden sind. Die zweiten Belegungen sind hinter dem Detektor f an einen Punkt des Empfängerkreises angeschlossen. C bedeutet den Kondensator dieses Kreises, r die Spulen des Relais und b die Lokalbatterie. Bei normalem Abstande zwischen Sende- und Empfangsstation ist der eine Pol des Detektors vermittels eines Stöpsels bei e an das obere Ende der Spule T angeschlossen. Soll nun auf geringere Entfernungen eine ungestörte Korrespondenz ermöglicht werden, so wird der Anschluß bei e gelöst und der Stöpsel in eine der Klemmen b_1, b_2 oder b_3 eingesteckt. Damit ist die Parallelschaltung einer Kapazität zum Detektor, unter gleichzeitiger Verminderung der Selbstinduktion des Schwingungskreises, vollzogen. Die Abmessung der Kapazitäten c_1, c_2, c_3 und der mit ihnen geschaltet bleibenden Windungen der Transformatorspule ist so gewählt, daß die Abstimmung des Empfängerkreises nicht geändert wird.

Digitized by Google

Anstatt diese Regulierung in mehreren Abstufungen vorzunehmen, kann man auch eine allmähliche Regulierung mit Hilfe eines Apparates durchführen, welche gestattet, gleichzeitig die Kapazität in demselben Maße zu vergrößern, wie die Selbstinduktion zu vermindern.

Das System „Telefunken" nähert sich, allem Anscheine nach, den Bedingungen einer wirklich abgestimmten Wellentelegraphie, so daß zu hoffen steht, daß das erstrebte Ideal auch werde erreicht werden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Verlag von ALBERT RAUSTEIN in ZÜRICH.

Soeben ist erschienen und kann durch alle Buchhandlungen bezogen werden:

Die elektrischen Anlagen der Schweiz.

Ein elektrotechnisches Sammelwerk.

Erster Band:

Die elektrisch betriebenen Straßen-, Neben-, Berg- und Vollbahnen der Schweiz.

Herausgegeben von **Siegfried Herzog,** Ingenieur.

Ein mit 533 Abbildungen, Durchschnitten etc. sehr schön ausgestatteter Quartband.

Preis geheftet 16 Mark, Leinen gebunden 18 Mark.

Es ist zur Genüge bekannt, daß die schweizerische Elektrotechnik stets eine hervorragende, oft auch eine führende Rolle gespielt hat. **Die elektrischen Anlagen der Schweiz sind allgemein als mustergiltig bekannt und können in konstruktiver Richtung als wegweisend gelten.**

Es lag daher nahe, die diesen elektrischen Anlagen zugrunde liegenden Konstruktionen zu sammeln und einheitlich zusammenzustellen, um auf diese Weise ein für den Konstrukteur brauchbares Vorlagewerk ausgeführter und in der Praxis erprobter Konstruktionen zu schaffen.

Weil gerade in diesem Berglande viel schwierigere Konstruktionsbedingungen durch die Natur des Landes selbst gegeben sind als sonst irgendwo, erhalten die in diesem Werke wiedergegebenen Zeichnungen erhöhten Wert für **Elektrotechniker**, die unter strengen Bedingungen und erschwerten Verhältnissen **ganze Anlagen zu projektieren** oder **Detailkonstruktionen** auszuführen haben.

Um für solche Zwecke tatsächlich wertvolles Material zu liefern, wurden die gegebenen Konstruktionszeichnungen gut kotiert, so daß sie für den Konstruktionstisch direkt verwendbar sind. Wo dies angängig war und dort, wo es zur Erleichterung der Vorstellung geboten erschien, wurden die konstruktiven Darstellungen durch photographische ergänzt.

Der erste Band behandelt die **elektrische Traktion der Schweiz.** Es ist unbestritten, daß in keinem Lande der Welt derart scharfe Anforderungen an den Bau elektrischer Bahnen, an die konstruktive Durchführung der Bahnmotoren und an die Verlegung der Leitungsnetze gestellt werden, als eben in diesem Lande. Diese Anforderungen hatten peinlichst genaue und ingeniöse Durchbildung der Bahnanlagen und ihrer Details bei geringsten Anlagekosten zur Folge. **Darum wird speziell dieser Band heutzutage, wo die Frage des elektrischen Betriebes der Verkehrsanlagen allerorts eine brennende geworden ist, überall besonders willkommen sein.**

Als ein erweiterter Separatabdruck aus dem vorangezeigten Werke erscheint:

Die Jungfraubahn.

Herausgegeben von **Siegfried Herzog,** Ingenieur.

Ein mit 52 sehr schönen Abbildungen, Durchschnitten etc. ausgestattetes Quartheft.

Preis 2 Mark 40 Pfg.

Digitized by Google

Verlag von ALBERT RAUSTEIN in ZÜRICH.

Technische Abhandlungen aus Wissenschaft und Praxis.

Herausgegeben von **Siegfried Herzog,** Ingenieur.

Soeben sind folgende Hefte erschienen:

Jedes Heft ist für sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Heft 1:

Neue Stromzuführungsanlage für elektrisch betriebene Eisenbahnen.

Von Ingenieur **Emil Huber,** Direktor der Maschinenfabrik Oerlikon.

Mit 52 Abbildungen. Preis 2 Mark 40 Pfg.

Heft 2:

Die Induktionsmotoren,

deren Konstruktion, Theorie, Entwurf und Berechnung.

Von **Ernst Schulz,** Oberingenieur. **Mit 27 Abbildungen. Preis 2 Mark 40 Pfg.**

Heft 3:

Berechnung eines städtischen Lichtverteilungsnetzes.

Von **Léon Legros,** Ingenieur. **Mit 31 Abbildungen. Preis 1 Mark 20 Pfg.**

Heft 4:

Leitfaden für die Abfassung von Projekten für elektrische Licht-, Kraft- und Straßenbahn-Anlagen.

Von **H. Spyri,** Ingenieur.

Mit 4 Abbildungen. Preis geh. 4 Mark, Leinen geb. 4 Mark 60 Pfg.

Heft 5:

Die Konstruktion und Berechnung von Starkstromkabeln.

Von **Joseph Schmidt,** Betriebsassistent. **Mit 63 Abbildungen. Preis 3 Mark.**

Heft 6:

Die praktischen Methoden zur Prüfung elektrischer Maschinen.

Von **Ernst Schulz,** Oberingenieur. **Mit 11 Abbildungen. Preis 2 Mark.**

Heft 7:

Der elektrische Lichtbogen.

Von **Julius Bing,** Diplom-Ingenieur. **Mit 52 Abbildungen. Preis 2 Mark 40 Pfg.**

Heft 8:

Die elektrischen Bahnsysteme der Gegenwart.

Von **Professor Dr. F. Niethammer.**

Mit ca. 130 Abbildungen. Preis ca. 5 Mark 40 Pfg., Leinen geb. ca. 6 Mark.

Heft 9:

Die Dampfturbinen.

Von **Professor Dr. F. Niethammer.**

Mit ca. 150 Abbildungen. Preis ca. 5 Mark 40 Pfg., Leinen geb. ca. 6 Mark.

Digitized by Google

Verlag von ALBERT RAUSTEIN in ZÜRICH.

Heft 10:

Die Fabrikation von Starkstromkabeln.

Von **Joseph Schmidt,** Betriebsassistent.

Mit 83 Abbildungen. Preis 4 Mark, Leinen geb. 4 Mark 60 Pfg.

Heft 11:

Die elektromagnetische Wellentelegraphie.

Von **Theodor Kittl,** Oberingenieur.

Mit 165 Abbildungen. Preis 5 Mark 40 Pfg., Leinen geb. 6 Mark.

Soeben ist erschienen:

Die Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion

Elektrischer Gleichstrom-Maschinen.

Praktisches Handbuch

für Elektrotechniker und Maschinenkonstrukteure

von **J. Fischer-Hinnen,** Oberingenieur.

Fünfte, vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 433 Textfiguren und 4 Tafeln

Preis in Leinen gebunden 16 Mark.

Das Motto des Verfassers: **„Aus der Praxis für die Praxis"** ist der Grund für den schnellen Erfolg und die überaus gute Aufnahme, die das Buch in den früheren Auflagen gefunden hat und die ihm auch sicher in Zukunft zu teil werden wird.

Die größte Schwierigkeit, welche sich dem angehenden Elektrotechniker entgegenstellt, besteht bekanntlich nicht in der Erlernung der für die Berechnung erforderlichen Lehrsätze und Formeln, sondern in der Art und Weise, das Erlernte praktisch zu verwenden, d. h. aus der Unmasse von Formeln gerade diejenigen herauszufinden, welche in einem gegebenen Falle schnell zum Ziele führen. Es muß ihm deshalb Gelegenheit gegeben werden, das Erlernte an Beispielen ausgeführter, mustergültiger Maschinen zu erproben. Dies ist um so unerläßlicher, als eben heutzutage, infolge der engen Verknüpfung der Elektrizität mit den übrigen technischen Gebieten, vielfach von Technikern nach einem solchen Buche gegriffen wird, deren eigentlicher Beruf nicht die Elektrizität ist, und die sich eine richtige Vorstellung und ein Urteil erst an der Hand von Beispielen zu bilden vermögen.

Einen Hauptwert legte der Verfasser auf möglichst deutliche, der Praxis entnommene Zeichnungen. Äußere Ansichten oder Photographien sind für einen solchen Zweck wenig geeignet und sollen höchstens als Vervollständigung der Schnittzeichnungen benutzt werden.

In Vorbereitung befindet sich und wird demnächst erscheinen:

Elektrisch betriebene Krane und Aufzüge

von **Siegfried Herzog,** Ingenieur.

Ein starker Band in Großoktav mit ca. 500 Abbildungen.

Preis in Leinen gebunden ca. 24 Mark.

Digitized by Google

Verlag von ALBERT RAUSTEIN in ZÜRICH.

Adressbuch, Schweizerisches, für Maschinenfabriken, Mechaniker und Schlosser. Leinen gebunden M. 3.20

Bauwerke der Schweiz. Herausgegeben vom Schweizer. Architekten- und Ingenieur-Verein. Heft 1. Mit 11 Tafeln. Fol. M. 7.50

— Dasselbe. Heft 2. Mit 11 Tafeln. Fol. M. 7.50

— Dasselbe. Heft 3. Mit 11 Tafeln. Fol. M. 7.50

Cadisch, H., Ingenieur, Die Abfallverbrennung vom technischen und finanziellen Standpunkte. Mit einem Atlas von 18 Tafeln. M. 4.—

Goebel, J. B. Dr., Die wichtigsten Sätze der neueren Statik. Ein Versuch elementarer Darstellung. Mit 1 Tafel. M. 1.60

Herzog, Siegfr., Maschinentechnisches Formelbuch. Alphabetische Zusammenstellung von Formeln. In Leinen gebunden M. 3.20

Lenggenhager, E., Ingenieur, Erläuterungen zu den Feuersicherheits-Vorschriften für elektrische Licht- und Kraftanlagen. Kartonniert M. 1.—

— Kleines elektrotechnisches Wörterbuch. Erklärung der elektrotechnischen Fachausdrücke. Kartonniert M. 1.20

Meyer-Baeschlin, Jos. und **J. Lepori,** Architektur, Baukonstruktion und Baueinrichtung in nordamerikanischen Städten. M. 1.—

Müller-Bertossa, Professor, Anleitung zum Rechnen mit dem logarithmischen Rechenschieber. 2. Auflage. Mit 2 Tafeln. M. 1.80

Reifer, Professor, Einfache Berechnung der Turbinen. 2. Auflage. Mit 1 Tafel und 14 Abbildungen. M. 2.50

Ritter, W., Professor, Anwendung der graphischen Statik. Nach Prof. Culmann bearbeitet. I. Teil: Die im Innern eines Balkens wirkenden Kräfte. Mit 65 Text-Figuren und 6 Tafeln. M. 8.—

— — II. Teil: Das Fachwerk. Mit 119 Text-Figuren und 6 Tafeln. M. 9.—

— — III. Teil: Der kontinuierliche Balken. Mit 184 Text-Figuren und 4 Tafeln. M. 9.60

In Leinen gebunden jeder Teil M. 1.— mehr.

— — IV. und V. Teil in Vorbereitung.

— Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten von Amerika. Mit 2 Tafeln. M. 4.60

Schindler-Escher, Klein aber Mein. 7 Projekte für einzelstehende Häuschen. Mit 8 Lichtdrucktafeln und Grundrissen. 6. Auflage. M. 2.40

Sonderegger, C., Ingenieur, L'achèvement du canal du Panama. Avec figures plans etc. M. 7.50

Specht, Tafeln der Steigungsverhältnisse von 0,5 ‰ bis 100 ‰ für die Entfernungen 1 bis 100, nebst entsprechendem Steigungswinkel nach alter und neuer Teilung. M. 2.50

Technisches von der Albulabahn. I. Die neuen Linien der Rhätischen Bahn. Von Oberingenieur F. C. S. Hennings. II. Die gewölbten Brücken der Albulabahn. Bearbeitet von der Redaktion der schweizerischen Bauzeitung. Mit 34 Abbildungen. In Mappe. 4°. M. 2.40

Tetmajer, Professor, Die äusseren und inneren Kräfte an einfachen Brücken und Dachstuhlkonstruktionen. Mit 80 Holzschnitten und 8 Tafeln. M. 9.—

— Theorie und Gebrauch des logarithmischen Rechenschiebers. Mit 16 Holzschnitten und 1 Tafel. M. 2.40

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

ENGINEERING
LIBRARY

Digitized by Google

B89090521410
B89090521410A

Digitized by Google